

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Problematika stanovení průměrné
koncentrace plynných složek spalin na
výstupu z kotle

Determinations of Average
Concentrations of Gaseous Components of
Waste Gases on Boiler Output

Student: Marek Goryczka
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Tomáš Výtisk, Ph.D.
Ostrava 2014

Zadání bakalářské práce

Student:

Marek Goryczka

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

3907R009 Provoz energetických zařízení

Téma:

Problematika stanovení průměrné koncentrace plyných složek spalín na výstupu z kotle
Determinations of Average Concentrations of Gaseous Components of Waste Gases on Boiler Output

Zásady pro vypracování:

- 1) Studie zaměřená na problematiku měření složení spalín v kouřovodech velkých rozměrů, s volbou metody stanovení.
- 2) Popis zařízení a nutných měřicích míst pro stanovení složení spalín na výstupu z kotle.
- 3) Návrh systému kontinuálního měření koncentrace plyných škodlivin.
- 4) Vyhodnocení investičních nákladů nutných pro realizaci navržené varianty kontinuálního síťového měření složení spalín na výstupu z kotle.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] RAJNIK I.: Tepelno energetické a emisné merania. Bratislava 1997, ISBN 80-88683-20-3.
- [2] SERBOUSEK A.: Přístrojová technika pro měření čistoty ovzduší. VŠB 1992, ISBN 80-7078-136-x.
- [3] BARTOVSKÝ T.: Analyzátory emisí. VUSTE Servis s.p., Praha, 1994.
- [4] ČSN ISO 9096: Stacionární zdroje emisí - Stanovení hmotnostní koncentrace a hmotnostního toku tuhých částic v potrubí - manuální gravimetrická metoda. ČNI Praha 1998.
- [5] Zákon MŽP ČR č.201/2012 Sb. O ochraně ovzduší.

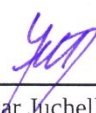
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Výtisk, Ph.D.**

Datum zadání: 17.02.2014

Datum odevzdání: 19.05.2014




prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci, včetně příloh, vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 19. 5. 2014



.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB–TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB–TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB–TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB–TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB–TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB–TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č.111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákonů o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledky její obhajoby.

V Ostravě: 19. 5. 2014



podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Marek Goryczka

Adresa trvalého pobytu autora:

Vendryně 793, 739 94

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

GORYCZKA, M. *Problematika stanovení průměrné koncentrace plyných složek spalin na výstupu z kotle*: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2014, 47 stran. Vedoucí práce: Ing. Tomáš Výtisk, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá problematikou stanovení průměrné koncentrace plyných složek spalin na výstupu z kotle. První část je zaměřena na popis odběru, úpravy, analýzy vzorku a měřících zařízení. Také seznamuje s možnými metodami a principy analyzátoru. Druhá část práce se věnuje návrhu systému kontinuálního měření koncentrace O₂ a CO na výstupu z kotle. V závěru jsou vyhodnoceny investiční náklady navržené varianty měření složení spalin. Schéma přístrojů pro kontinuální měření plyných složek spalin je součástí přílohy.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

GORYCZKA, M. *Determinations of Average Concentrations of Gaseous Components of Waste Gases on Boiler Output*: Bachelor Thesis. Ostrava: VSB – Technical University of Ostrava, Faculty of Engineering, Department of energy, 2014, 47 p. Thesis, head: Ing. Tomáš Výtisk, Ph.D.

The bachelor thesis deals with the determination of the average concentrations of gaseous components in the flue gas of the boiler. The first part focuses on the description of the collection, treatment, analysis of samples and measuring equipment. It also introduces the potential methods and principles of the analyzer. The second part deals with design of continuous measurement of O₂ and CO concentration at the outlet of the boiler. The conclusion includes the evaluation of investment costs proposed variants of measuring the composition of the exhaust gases. The diagram of the apparatus for continuous measurement of flue gas components is included in the enclosure.

Obsah	strana
SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A INDEXŮ	8
1. ÚVOD	10
2. POPIS ZAŘÍZENÍ	11
2.1 Odběr vzorku.....	11
2.1.1 Extraktivní metoda (off-line).....	13
2.1.2 Neextraktivní metoda (in-situ).....	13
2.2 Vzorkovací body v měřicím průřezu.....	14
2.3 Odběrové zařízení	16
2.3.1 Odběrové sondy	16
2.3.2 Filtr	17
2.3.3 Odběrové potrubí	17
2.3.4 Chladič	18
2.3.5 Vzorkovací čerpadlo	18
2.4 Měřicí zařízení	18
2.4.1 Měření průtoku	18
2.4.2 Měření rychlosti proudění.....	19
2.4.3 Měření teploty.....	21
2.4.4 Měření tlaku.....	22
2.4.5 Stanovení vlhkosti	22
3. ANALYZÁTORY	23
3.1 Třídění analyzátoru	23
3.2 Vlastnosti analyzátoru.....	23
3.3 Fotometrické analyzátory	25
3.3.1 Absorpční analyzátory	25
3.3.2 Fluorescenční analyzátory	28
3.3.3 Chemiluminiscenční analyzátory.....	29
3.4 Magnetické analyzátory	30
3.5 Elektrochemické analyzátory	31
4. EMISE	33
4.1 Jednorázové měření.....	33
4.2 Kontinuální měření.....	34
4.3 Vlastnosti škodlivin.....	35
4.4 Výpočet emisí.....	36
5. NÁVRH KONTINUÁLNÍHO MĚŘENÍ	37
5.1 Parametry kotle K11	38
5.2 Měření emisí K11	39
5.3 Volba měřicího místa	39
5.4 Přístrojové vybavení.....	40

5.4.1	Analyzátor plynu ULTRAMAT 23	41
5.5	Investiční náklady	42
6.	ZÁVĚR	43
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	45
	SEZNAM OBRÁZKU	46
	SEZNAM TABULEK	46
	SEZNAM PŘÍLOH	47

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A INDEXŮ

ZNAČENÍ A JEDNOTKY

značka	veličina	jednotka
A	Obsah popela	kg.kg^{-1} ; %
A ^d	Obsah popela v sušině	kg.kg^{-1} ; %
C	Obsah uhlíku	kg.kg^{-1} ; %
D _e	Hydraulický průměr potrubí	m
E	Elektromotorické napětí	V
E _n	Koncentrace za normálního stavu	mg.m^{-3}
E _p	Koncentrace za daných podmínek	mg.m^{-3}
F	Faradayaova konstanta	C.mol^{-1}
K _{Pt}	Koeficient korekčního faktoru	1
L	Vzdálenost	m
N	Obsah dusíku	kg.kg^{-1} ; %
O	Obsah kyslíku	kg.kg^{-1} ; %
O ₂ ^r	Referenční obsah O ₂ ve spalínách	%
O ₂ ^m	Změřený obsah O ₂ ve spalínách	%
Q	Příčná citlivost	1
Q _i ^r	Výhřevnost	kJ.kg^{-1}
R	Molová plynová konstanta	$\text{J.kmol}^{-1}.\text{K}^{-1}$
S	Obsah síry	kg.kg^{-1} ; %
S _t ^d	Obsah síry v sušině	%
T	Termodynamická teplota	K
T ₉₀	Čas dosažení 90% skutečné hodnoty koncentrace plynné složky spalin	s
V	Objem vzduchu nebo spalin vztažený na 1kg nebo 1m ³ paliva	$\text{m}^3.\text{kg}^{-1}$
V ^{daf}	Obsah prchavé hořlaviny	%
W	Obsah vody	kg.kg^{-1} ; %
W _t ^r	Obsah vody v surovém palivu	kg.kg^{-1} ; %
c	Koncentrace absorbující látky	l.mol^{-1}
d	Průměr	m
l	Tloušťka vrstvy látky	cm
p	Tlak	Pa
p _{celk}	Celkový tlak	Pa

t	Teplota	°C
t _ε	Čas	s
v _s	Rychlost proudění	m.s ⁻¹
δ	Relativní chyba měření	%
δ _p	Třída přesnosti	%
ε	Extinkční koeficient	l.mol ⁻¹ .cm ⁻¹
η	Účinnost	l; %
ρ	Hustota	kg.m ⁻³
φ	Zářivý tok vystupující z látky	W
φ ₀	Zářivý tok vstupující do látky	W

VÝZNAM INDEXŮ

index	význam	index	význam
celk	Celkový	p	Vztažné podmínky
č	Čas	Pt	Korekční faktor
e	Hydraulický průměr	s	Rychlost
i	Člen souborů	t	Celkový obsah
n	Normální stav	0	Počáteční

VÝZNAM EXPONENTŮ

exponent	význam	exponent	význam
d	Sušina	m	Změřené
daf	Prchavá hořlavina	r	Surové palivo

VÝZNAM ZKRATEK

zkratka	význam	zkratka	význam
EO	Elektrostatický odlučovač	NDIR	Nedisperzní infračervená spektrometrie
EKO	Ohřívač vody		
FFT	Analyzátor (s Fourierovou transformací)	PTFE	Polytetrafluorethen
LUVO	Ohřívač vzduchu	TZL	Tuhé znečišťující látky

1. ÚVOD

Cílem této bakalářské práce je popsat zařízení a nutná měřicí místa pro stanovení průměrné koncentrace plyných složek spalín na výstupu z kotle a vypracování metodiky stanovení koncentrace škodlivin.

Máme dva hlavní důvody proč měřit emise. Z ekologického hlediska je důvodem ochrana ovzduší. V dnešní moderní době s rozvojem techniky a průmyslu je zapotřebí chránit ovzduší. Toto nám nařizuje zákon, nařízení vlády a zejména vyhlášky. Dodržování přísných legislativních předpisů, které se často novelizují, kontroluje Ministerstvo životního prostředí. Dalším důvodem je ekonomika provozu. Při neustálém růstu cen paliv a energií je zvyšování účinnosti kotlů významným ekonomickým přínosem, kde monitoring plyných složek spalín výrazně pomáhá k řízení a optimalizace spalovacích procesů.

Stanovení koncentrace plyných složek spalín zjišťujeme měřením nebo výpočtem. Měřením pomocí měřících přístrojů, které se nazývají analyzátory neboli provozní samočinné přístroje. Tyto analyzátory pracují na různých fyzikálních nebo chemických principech. Výpočet využíváme u zvláštních případů, které jsou stanoveny právními předpisy dle hmotové bilance a emisního faktoru.

V praktické části této bakalářské práce bude návrh systému kontinuálního měření koncentrace plyných složek a vyhodnocení investičních nákladů pro realizaci navrženého měření.

2. POPIS ZAŘÍZENÍ

Tato kapitola byla zpracována podle literatury [1], [3], [10] a [11]

Analyzátory dělíme dle použitého principu měření na fotometrické, magnetické a elektrochemické. Detailnějším popisem analyzátoru se budu zabývat v jiné kapitole. Pro odběr, úpravu vzorku a dopravu vzorku k analyzátoru slouží odběrové zařízení. Lze ho též nazvat pomocným zařízením, které má výrazný vliv na přesnost, stabilitu a výsledek měření.

2.1 Odběr vzorku

Metoda odběru vzorku pro analýzu závisí na technických možnostech a zejména na určeném cíli analýzy. Největší chyby měření vznikají při odběru vzorku a nelze je později žádným způsobem odstranit. Proto je nutné být precizní, aby byla dodržena reprezentativnost vzorku.

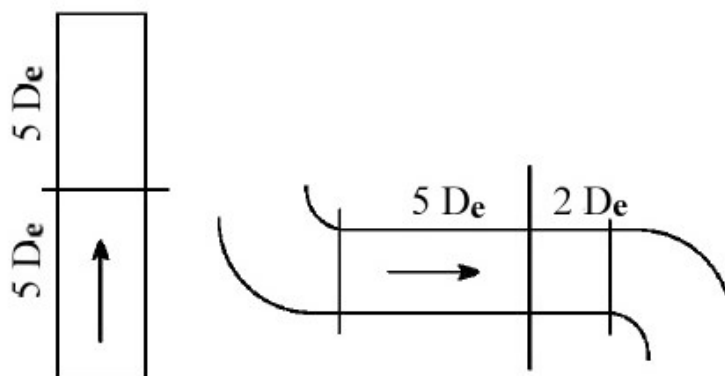
Instalace analyzátoru a výběr místa, ve kterém bude odebíráán vzorek plynu, podléhá několika požadavkům:

- 1) odběr vzorků z potrubí nebo kouřových kanálů musí zajistit, aby složení odebíraného plynu odpovídalo průměrnému složení v daném průřezu potrubí,
- 2) odběr vzorku by měl být z míst výskytu nejvyšší koncentrace plynné složky,
- 3) proudění by mělo být rovnoměrné a rychlostní pole symetrické vzhledem k ose potrubí.

Abychom splnili požadavky, použijeme v potrubí clony nebo hradítka, která nám zajistí promíchání plynu. U kouřovodů s velkým průřezem nelze technicky zaručit smísení, proto je nutno provádět odběr z více míst současně. Přesto nejvhodnější místo odběru v průřezu potrubí řešíme často experimentálně, kde hledáme polohu reprezentativního bodu. Správnost určení bodu je dána podmínkou rovnosti, a sice intenzity hmotnostního toku sledované znečišťující látky v tomto bodě a střední průřezové intenzity hmotnostního toku. Je-li odchylka složení u vzorkovaného plynu v rozmezí větší než $\pm 15 \%$, bývá doporučováno odběr vzorků v průřezu potrubí na více bodech. Pro jednodušší úpravu vzorků je nezbytné zajistit odběr v nejméně znečištěných místech.

Požadavku rovnoměrnosti proudění nejvíce vyhovují přímé části potrubí neměnného průřezu bez hydraulických odporů, nejlépe kruhového průřezu a svislé orientace. Pro dodržení požadovaného charakteru proudění v rovině měření je doporučena minimální délka přímého úseku potrubí, která se rovná sedminásobku

hydraulického průměru potrubí. Na přímém úseku potrubí je umístěn měřicí profil ve vzdálenosti pětinasobku hydraulického průměru od začátku tohoto úseku. Je-li měřicí průřez umístěn v blízkosti ústí proudu plynu do okolní atmosféry, musí být tato vzdálenost od konce přímého úseku potrubí rovna pěti hydraulickým průměrům (viz obr. 2.1).



Obr. 2.1: Schéma umístění měřicího průřezu [10]

Potrubí kruhového průřezu má hydraulický (ekvivalentní) průměr potrubí D_e totožný s vnitřním průměrem potrubí. Potrubí čtyřhranného průřezu vypočítáme podle vztahu:

$$D_e = 2 \cdot \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2} \quad [m] \quad (2.1)$$

kde: L_1 ... delší strana obdélníkového průřezu potrubí [m]

L_2 ... kratší strana obdélníkového průřezu potrubí [m]

Umístění měřicích bodů v měřeném profilu, je-li délka přímého rovného úseku potrubí menší než sedminásobek hydraulického průměru potrubí nám upravuje mezinárodní norma. Je nutno dodržet podmínku minimální vzdálenosti vzorkovacího profilu od hydraulických odporů (viz tabulka 2.1).

Hydraulický odpor	Vzdálenost (v násobcích hydraulického průměru)
Ohyb potrubí	1
Spojení dvou potrubí	1
Částečně uzavřené žaluzie	3
Výstup ventilátoru	4

Tabulka 2.1: Minimální vzdálenosti měřicích profilu od hydraulických odporů [3]

2.1.1 Extraktivní metoda (off-line)

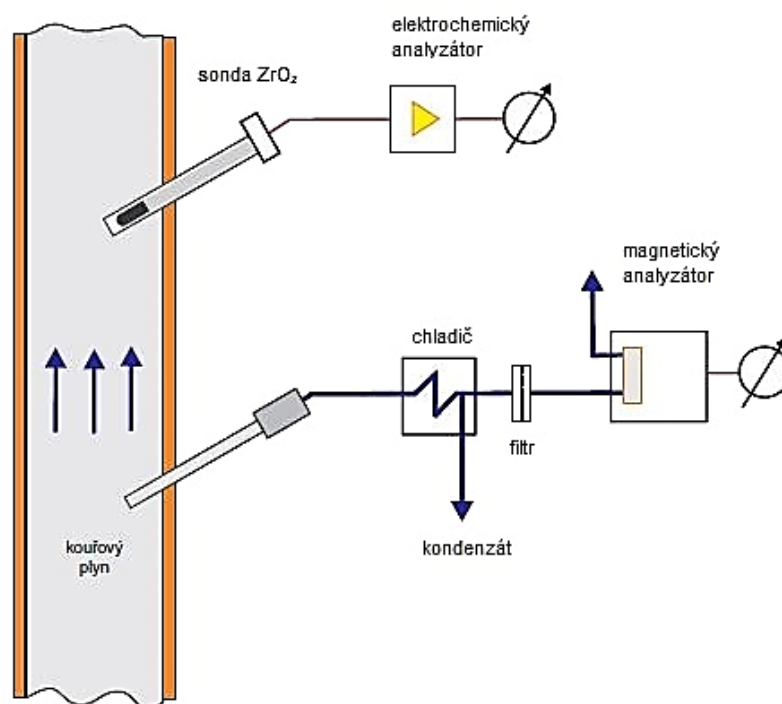
Odběr vzorků plynu pro analýzu je prováděn přes odběrové zařízení k analyzátoru. Tuto metodu dělíme na systémy:

1. *Nezředovací extraktivní systém* - odfiltrovaný vzorek spalin, jehož teplota je udržována nad rosným bodem, vstupuje do chladiče. V chladiči je odloučená vlhkost vlivem rychlého ochlazování na teplotu blížíci se 0 °C. Vzorkovací trasa je vyhřívána.
2. *Suchý zředovací extraktivní systém* - vzorek spalin je navíc zředován zředovací sondou čistým a suchým vzduchem v poměru 20 : 1 až 100 : 1. Zředovací sonda je umístěna v temperovaném pouzdře společně s velkoplošným filtrem a chladičem. Vzorkovací trasa se nevyhřívá.
3. *Mokrý zředovací extraktivní systém* - vzorek spalin není zbaven vlhkosti. Tento mokrý systém nemá na rozdíl od suchého systému chladič plynu.

2.1.2 Neextraktivní metoda (in-situ)

Nedochází k odběru vzorků plynu, měření probíhá přímo (komín, kouřovod). Výhodou této metody je maximální přesnost výsledku, která není ovlivněna odběrem nebo úpravou vzorků. Nejčastěji je používán optický nebo elektrochemický analyzátor.

Obr. 2.2 znázorňuje instalaci analyzátoru extraktivní a neextraktivní metodou odběru.



Obr. 2.2: Porovnání instalace analyzátoru „off-line“ a „in-situ“ [8]

2.2 Vzorkovací body v měřicím průřezu

Minimální počet měřicích bodů dle ČSN udává tabulka 2.2 pro potrubí kruhového průřezu a tabulka 2.3 pro potrubí čtyřhranného průřezu. Vzdálenost vzorkovacích bodů nesmí být menší než 3 % délky měřicí přímky nebo 3 cm od vnitřní stěny potrubí.

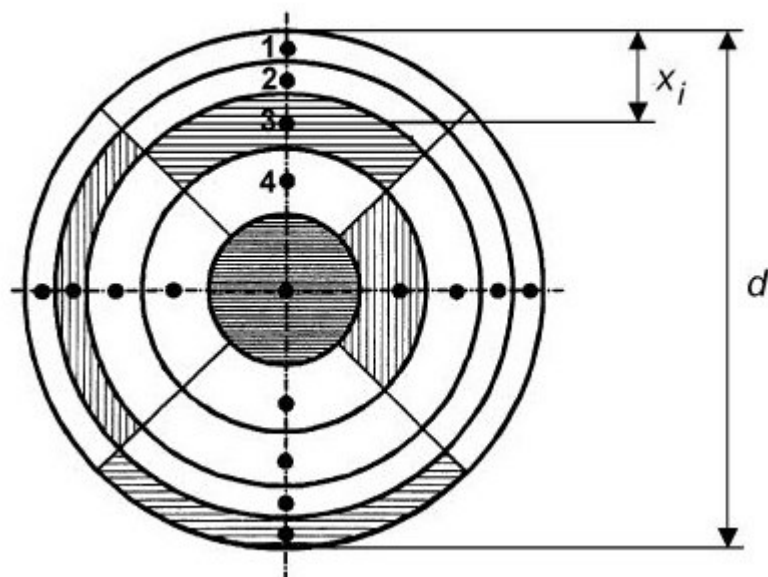
<i>Plocha měřicího profilu (m²)</i>	<i>Průměr potrubí (m)</i>	<i>Minimální počet vzorkovacích přímek</i>	<i>Minimální počet vzorkovacích bodů na průměr</i>		<i>Minimální počet vzorkovacích bodů na průřez</i>	
			<i>střední bod</i>		<i>střední bod</i>	
			<i>zahrnut</i>	<i>nezahrnut</i>	<i>zahrnut</i>	<i>nezahrnut</i>
< 0,09	< 0,35	-	1 ¹⁾	-	1 ¹⁾	-
0,09 - 0,38	0,35 - 0,70	2	3	2	5	4
0,38 - 0,79	0,70 - 1,00	2	5	4	9	8
0,79 - 3,14	1,00 - 2,00	2	7	6	13	12
> 3,14	> 2,00	2	9	8	17	16
¹⁾ Použití jediného vzorkovacího bodu může vést ke vzniku chyb přesahující požadovanou hodnotu přesnosti asi ± 10 %.						

Tabulka 2.2: Minimální počet vzorkovacích bodů pro potrubí s kruhovým průřezem [3]

<i>Plocha měřicího profilu (m²)</i>	<i>Minimální počet vzorkovacích přímek 1¹⁾</i>	<i>Minimální počet vzorkovacích bodů</i>
< 0,09	-	1 ²⁾
0,09 - 0,38	2	4
0,38 - 1,50	3	9
> 1,50	4	16
¹⁾ Rozdělení stran lze provést i jiným způsobem, např. je-li délka delší strany více než dvojnásobkem délky kratší strany (obr. 2.4).		
²⁾ Použití jediného vzorkovacího bodu může vést ke vzniku chyb přesahující požadovanou hodnotu přesnosti asi ± 10 %.		

Tabulka 2.3: Minimální počet vzorkovacích bodů pro potrubí s čtyřhranným průřezem [3]

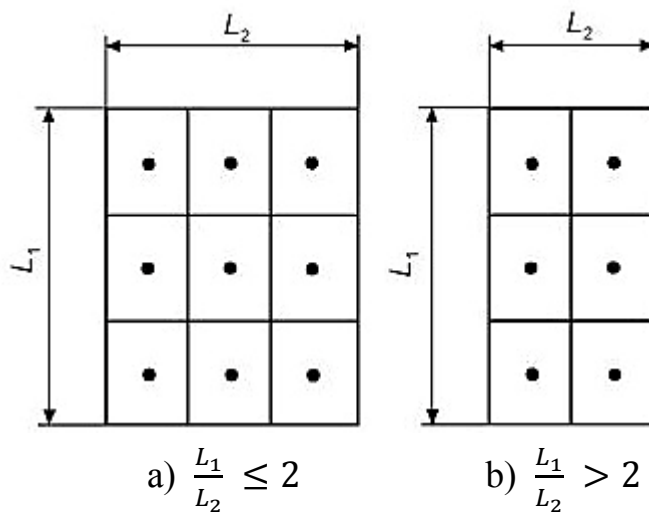
Základní metoda rozmístění vzorkovacích bodů u potrubí kruhového průřezu je dána dvěma nebo více vzorkovacími přímkami, kde ve středu potrubí máme jeden vzorkovací bod (obr. 2.3).



Šrafované části mají stejnou plochu, $d_H > 2$

Obr. 2.3: Základní umístění vzorkovacích bodů v potrubí kruhového průřezu [3]

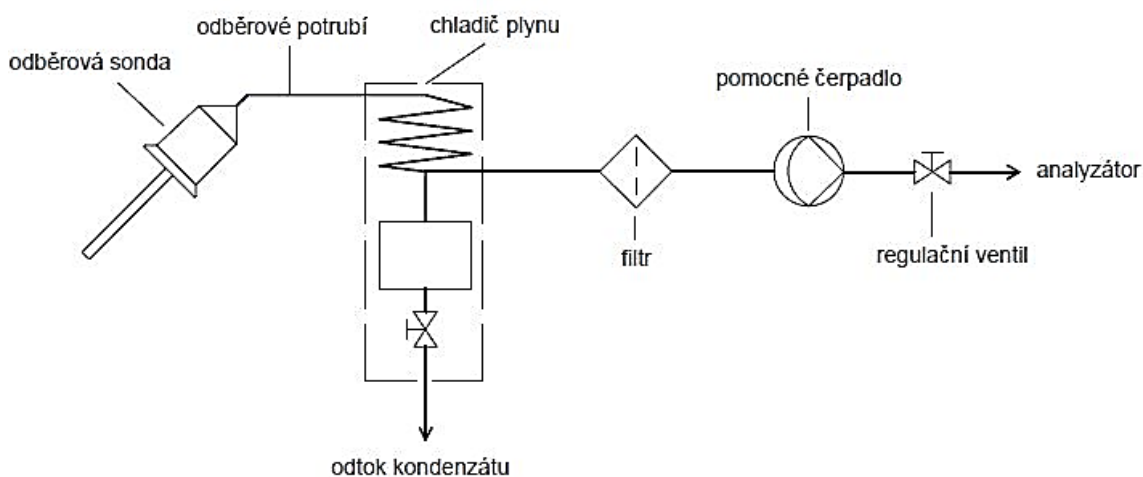
Má-li potrubí čtyřhranný průřez, bývá vzorkovací průřez rozdělený přímkami rovnoběžnými se stěnami potrubí na rovnoploché úseky. Vzorkovací bod je ve středu každé části (obr. 2.4).



Obr. 2.4: Umístění vzorkovacích bodů v potrubí čtyřhranného průřezu [3]

2.3 Odběrové zařízení

Odběrové zařízení má několik částí (viz obr. 2.5). Mezi nejvýznamnější patří odběrové sondy, filtr, odběrové potrubí, ventily, chladiče a čerpadla. Konstrukční materiály musí odolávat korozivním látkám, přítomných v měřeném plynu. Přesnost měření získáme provozem odběrového zařízení s výbornou funkcí, spolehlivostí a těsností.



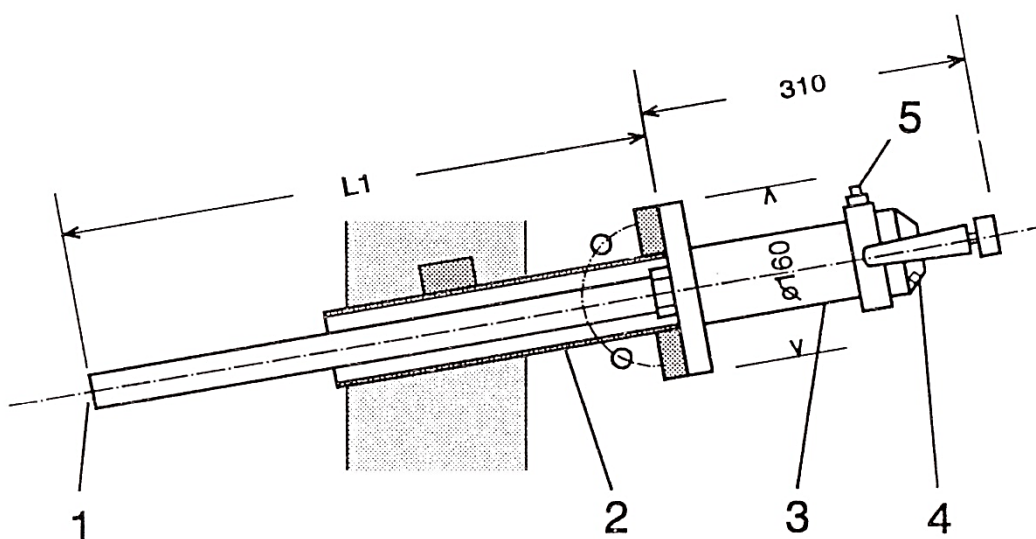
Obr. 2.5: Odběr a úprava měřeného plynu před vstupem do analyzátoru [2]

2.3.1 Odběrové sondy

Hlavním úkolem odběrové sondy (obr. 2.6) je vyvést vzorek k analýze přes stěnu kouřovodu či jiného zařízení určeného pro dopravu vzorku. Odběrové sondy rozlišujeme dle vlastností odebíraných složek, prostředí a teploty.

Materiál sondy má odolávat jednak vysokým teplotám, ale i působení chemicky agresivních složek. Tyto požadavky splňují kovové sondy z korozivzdorné oceli a titanu nebo žáruvzdorné keramiky. Pracující sondy při vysokých teplotách musí být namontovány svisle, a to z důvodu teplotního namáhání, při kterém je překračována mez tečení. Keramické trubice, přestože jsou teplotně odolné a umístěné svisle nebo vodorovně, mají tendenci se časem deformovat a ohýbat. U vzorkování velmi horkých plynů musíme použít sondy chlazené (vzduch, vodní plášť).

Vyhřívaná odběrová trubice odolává vysoké vlhkosti a obsahu korozivních složek. Omezením kondenzace snížíme korozní vliv kondenzátu a také nežádoucí absorpce.



1 – vstup plynu, 2 – průchozí trubice s přírubou, 3 – pouzdro s filtrem na výstupu sondy, 4 – výstup plynu, 5 – přípojka uzavřena zátkou, pro kontrolní odběr nebo pro připojení proplachovacího plynu

Obr. 2.6: Sonda pro odběr kouřových plynů [1]

2.3.2 Filtr

Slouží k zachycení tuhých částic ze vzorkovaného plynu. Členíme jej na:

- 1) *Primární filtr* (hrubý filtr) - umístěný na vstupu odběrového zařízení nebo přímo na vstupu odběrové sondy (obr. 2.6). Účinný materiál, který je odolný vysokým teplotám, bývá keramika, korozivzdorné oceli, křemenné nebo borosilikátové sklo. Často používané keramické filtry dosahují výborné filtrační schopnosti a nízkých poklesů tlaku. Stínicí desky umístěné před odběrovou sondu zabraňují ucpání vstupní hrany filtru.
- 2) *Sekundární filtr* (jemný filtr) - má chránit čerpadlo a analyzátor. Je umístěn za přívodním potrubím před čerpadlem nebo analyzátozem, kde odstraňuje zbývající tuhé částice. Dříve často používané papírové vložky u membránových filtrů nahrazujeme skleněnou plstí. Vyhřívání filtru nad teplotu rosného bodu (min. o 15 °C) zamezuje kondenzaci vodních par a minerálních kyselin u vzorkovaného plynu. Použití nevyhřívání filtru je možné, je-li filtr umístěn za odstraňovačem vodních par (chladičem).

2.3.3 Odběrové potrubí

Slouží k dopravě plynného vzorku mezi odběrem a analyzátozem.

Materiál volíme na základě teploty plynného vzorku, chemické a fyzikálněchemické reakce. Korozivzdorná ocel s výbornou tepelnou odolností až do 250 °C, je chemicky nereaktivní, a proto často nahrazuje polytetrafluorethen (PTFE). Vyhřívání potrubí mezi sondou a chladicím modulem mívá výměnnou teflonovou vložku. Teplotu

v odběrovém potrubí je nutno udržovat 15 °C nad rosným bodem vzorkovaného plynu. Není-li možné tuto podmínku dodržet, musí být odběrové potrubí opatřeno odvodem kondenzátu a vyspádováno od sondy k jímkám na kondenzát. Vnitřní průměr potrubí, který odpovídá průtoku s malým dynamickým odporem je asi 6 mm.

2.3.4 Chladič

Úkolem chladiče je odvedení vlhkosti a chlazení plynu nad rosný bod spalin. Chladiče členíme na 2 typy:

- 1) *Vzduchový chladič* je jednoduché zařízení, které se skládá z neizolovaného potrubí a odvodu kondenzátu. Potrubí je nejčastěji umístěno svisle s jímkou kondenzátu. Nevýhodou tohoto chladiče je možnost ochlazení plynné složky jen na teplotu blízkou okolí. Umístění v nejchladnějším místě trasy bývá mnohdy problematické.
- 2) *Vodní chladič* se skládá z rovného potrubí s pláštěm, ve kterém protéká voda.

Častěji používáme chlazení pomocí strojního chladicího kompresorového zařízení. Dále pomocí baterií Peltierových článků, které pracují na principu Peltierova jevu.

2.3.5 Vzorkovací čerpadlo

K dopravě reprezentativního vzorku plynu slouží tzv. membránové čerpadlo. Čerpadlo nepoužíváme při dostatečném přetlaku odběrového plynu v místě odběru vůči atmosféře.

Výkon čerpadla je volen dle požadovaného průtoku s 10 % přebytkem. Obtok čerpadla s obtokovým ventilem slouží k regulaci průtoku. Konstrukčním materiálem čerpadla je korozivzdorná ocel. U výběru čerpadla je kladen důraz na jednoduchost, trvanlivost a bezobslužnost. Kromě nejčastěji používaného membránového čerpadla může být použito pístové nebo kovové vlnovcové čerpadlo.

2.4 Měřicí zařízení

Patří sem měření průtoku a nezbytných doprovodných veličin jako např. teplota či tlak. Dále stanovení vlhkosti a měrné hmotnosti spalin. U měření teploty a statického tlaku je nezbytné zajistit a kontrolovat těsnost měřících sond u vstupních otvorů. Možné netěsnosti ovlivňují a zkreslují výsledek měření.

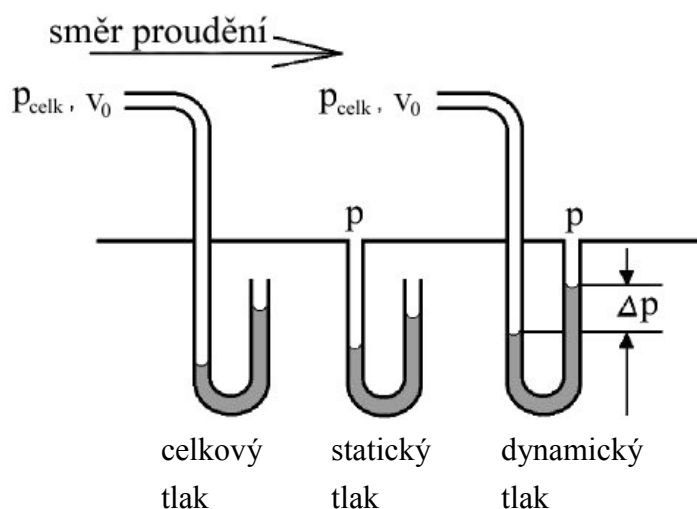
2.4.1 Měření průtoku

Průtokoměr je kalibrovaný přístroj sloužící k měření proteklého objemu plynného vzorku v odběrovém potrubí a obtoku. Uvedeným měřením kontrolujeme a regulujeme množství vzorku odpadního plynu.

- *Korozivzdorné rotametry* (plováčkové) jsou používané nejčastěji. Skládají se z kuželové trubky a plováku. Změnou rychlosti proudění plynu se mění poloha plováku, přičemž u vzrůstajícího průtoku je plovák vytlačován vzhůru a při klesajícím průtoku je stahován gravitací zpět.
- *Turbínový průtokoměr* je vhodný pro suché a čisté plyny. Měření je určeno pro velké průtoky. Rotující lopatkový rotor udává průtok měřeného plynu frekvencí otáčení.
- *Ultrazvukový průtokoměr* je přesné bezdotykové měřidlo bez pohyblivých částí s nulovou tlakovou ztrátou, využívá se pro měření znečištěných a agresivních plynů. Ultrazvukové vlnění měří na principu měření doby průchodu signálu měřeným plynem.

2.4.2 Měření rychlosti proudění

K měření rychlosti proudění nejčastěji používáme Prandtlovy trubice. Tyto trubice měří rozdíl mezi celkovým tlakem proudící tekutiny a statickým tlakem (viz obr. 2.7). Celkový tlak je součtem statického a dynamického tlaku.



Obr. 2.7: Princip měření Prandtlovou trubicí [10]

- Výpočet diferenčního tlaku:

$$\Delta p = p_{celk} - p \quad [\text{Pa}] \quad (2.2)$$

- Rychlost proudění:

$$v_s = \sqrt{\frac{2 \cdot (p_{celk} - p)}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2.3)$$

- Obecná rovnice pro reálná měřidla:

$$v_s = K_{Pt} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_{celk} - p)}{\rho}} = K_{Pt} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2.4)$$

kde: p_{celk} ... celkový tlak [Pa]

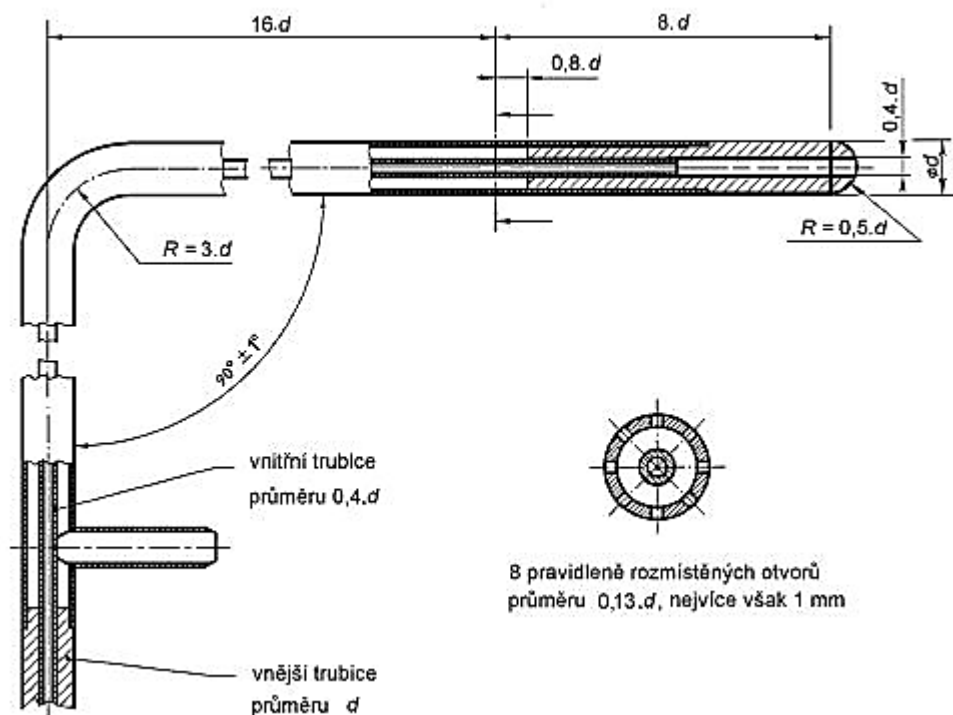
p statický tlak [Pa]

ρ hustota [kg · m⁻³]

K_{Pt} koeficient korekčního faktoru [1]

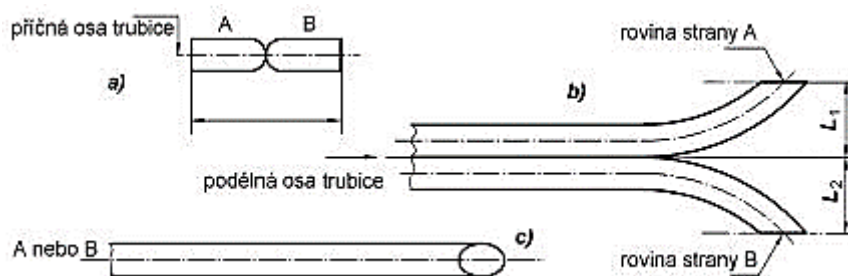
Korekční faktor u Prandtlových trubic je označovány jako koeficient K_{Pt} , který zjišťujeme kalibrací.

Prandtlou trubicí – typu L (viz obr. 2.8) měříme rychlostní proudění plynu od 5 m/s do 50 m/s s nejistotou do 3%. Při správném měření míří čelní plocha trubice proti proudu plynu, maximální dovolená odchylka je $\pm 10^\circ$. Dále musí diferenční tlak trubice být minimálně 5 Pa. Konstrukce ve tvaru písmene L má dvojité vedení, vnitřním vedením snímáme celkový tlak a vnějším statický tlak. Hlava trubice s osmi otvory umístěnými radiálně slouží ke snímání statického tlaku.



Obr. 2.8: Prandtlůva trubice typ – L [10]

Prandtlůva trubice – typu S (viz obr. 2.9) má lepší vlastnosti oproti typu L. Má zejména robustnější konstrukci, která je odolnější proti ucpaní a zanášení. Provedení trubice nám umožňuje použití menších měřicích otvorů.



Obr. 2.9: Prandtlůva trubice typ – S [10]

2.4.3 Měření teploty

Teplotu odebíraného vzorku v potrubí měříme v jednom bodě. Měření uskutečňujeme v pravidelných intervalech. Interval nastavujeme dle kolísání teploty a provozních podmínek zdroje. U stálých podmínek, kde kolísání termodynamické teploty nepřekračuje $\pm 5 \%$ průměrné teploty vzorku, nám postačuje měřit teplotu na počátku a na konci vzorkovací řady.

K měření používáme:

- 1) *Rtuťové teploměry* - objemová roztažnost teploměrné kapaliny závisí na teplotě.
- 2) *Odporové teploměry* - měří teplotu na principu elektrického odporu kovových vodičů a polovodičů. Nejčastěji používanými materiály jsou platina, nikl, měď. Výhodou odporových teploměrů je přesnost měření.
- 3) *Termočlánky* - pracují na principu termoelektrického jevu, transformace teplotního gradientu na elektrické napětí. Termočlánek je spojení dvou vodičů z odlišných materiálů. Měření teploty probíhá dle výsledného termoelektrického napětí na koncích vodičů. Toto napětí vzniká rozdílem teplot vodičů.

2.4.4 Měření tlaku

Statický tlak měříme přímou metodou pomocí absolutních tlakoměrů nebo metodou nepřímou. Nepřímá metoda se provádí pomocí diferenčních manometrů.

- *Absolutní tlakoměry* - měří tlak vzhledem k absolutní nule, nebo-li vakua, měření není ovlivňováno výkyvy atmosférického tlaku.
- *Diferenční manometry* - měří rozdíly tlaků, nejčastěji statický tlak v potrubí vůči barometrickému tlaku.

2.4.5 Stanovení vlhkosti

Nejvhodnější zařízením pro stanovení vlhkosti odpadního plynu je elektronický vlhkoměr nebo využití kondenzační metody.

- *Kapacitní vlhkoměry*, ve kterých je vlhkost absorbována materiálem z polymeru, mění elektrický odpor a kapacitu kondenzátoru. Výhodou elektronických vlhkoměrů je vysoká přesnost, nízká odezva a odolnost vůči vysokým teplotám.
- *Kondenzační vlhkoměr* opticky snímá odrazivost kovového termoelektricky chlazeného zrcátka. Chlazením je zrcátko udržováno mírně orosené, toto mění odrazivost. Teplotu zrcátka snímá platinový odporový teploměr.

3. ANALYZÁTORY

Tato kapitola byla zpracována podle literatury [1], [6], [7] a [8]

Posledním článkem celého měřicího řetězce je analyzátor, který analyzuje a zobrazuje koncentraci plynné složky spalín. Volba analyzátorů obecně závisí na funkčních vlastnostech a principu měření.

3.1 Třídění analyzátoru

Analyzátory můžeme třídit dle účelu použití a mnohdy dle principu činnosti. Princip činnosti je důležitý funkční aspekt analyzátoru.

Základní třídění podle principu činnosti má tři skupiny:

- 1) *Fyzikální princip* - založený na měření fyzikálních veličin, který buď přímo nebo dosazením do určeného vztahu stanovuje složení analyzovaného plynu. Výhodou tohoto principu je, že při průchodu vzorkovaného plynu zařízením nedochází ke změnám kvalitativním ani kvantitativním. Nejvýznamnějšími fyzikálními vlastnosti jsou hustota, rychlost šíření zvuku, tepelná vodivost, viskozita směsi, absorpce záření, magnetická susceptibilita a elektrická vodivost.
- 2) *Fyzikálně-chemický princip* - mimo měření fyzikální veličiny sledujeme další fyzikální jevy doprovázené chemickou reakcí. Tento princip je využíván pro měření teplot reaktivních směsí u chemických reakcí, měření elektrických proudů při průchodu elektrochemickým článkem a měření difference potenciálu mezi elektrodami ponořenými v analyzovaném roztoku.
- 3) *Chemické analyzátory* - měří fyzikální veličiny a využívají chemických reakcí látek stejně jako u předchozího principu. Měření hodnot fyzikálních veličin probíhá před a po skončení chemické reakce. Tímto měřením rozdílu, stanovujeme koncentraci sledované složky. Mnohdy je nutné dodání dalších chemických látek, aby došlo k realizaci požadovaných chemických reakcí.

3.2 Vlastnosti analyzátoru

Dynamické vlastnosti a několik hlavních funkčních vlastností, jako je rozsah, přesnost a selektivita.

- *Měřicí rozsah* je ohraničen horní a spodní hranicí rozsahu. Měření analyzátoru podává přesný údaj o velikosti měřené veličiny. Nutno počítat s přesností provozních přístrojů $\pm 2 \%$.
- *Absolutní chyba měření Δ* je rozdíl mezi naměřenou hodnotou N a skutečnou S .

- *Relativní chyba měření* je vyjádřena vztahem

$$\delta = \frac{N-S}{N} \cdot 100 = \frac{\Delta}{N} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.1)$$

kde: N naměřená hodnota [1]

S skutečná hodnota [1]

Δ absolutní chyba měření [1]

- *Přesnost přístroje* vymezuje šířku intervalu, kterou nemůže chyba měření překročit. Třída přesnosti δ_p je normovaná a vyjadřuje maximální relativní chybu přístroje. Vypočtenou hodnotu zaokrouhlujeme směrem nahoru na nejbližší normovanou hodnotu. Normované hodnoty pro analogová měřidla jsou $\delta_p = 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 5$.

Vztah pro výpočet třídy přesnosti

$$\delta_p = \frac{\Delta_{max}}{N_{max} - N_{min}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.2)$$

kde: Δ_{max} ... maximální dovolená chyba měření [%]

N_{max} ... horní hranice měřicího rozsahu [%]

N_{min} ... dolní hranice měřicího rozsahu [%]

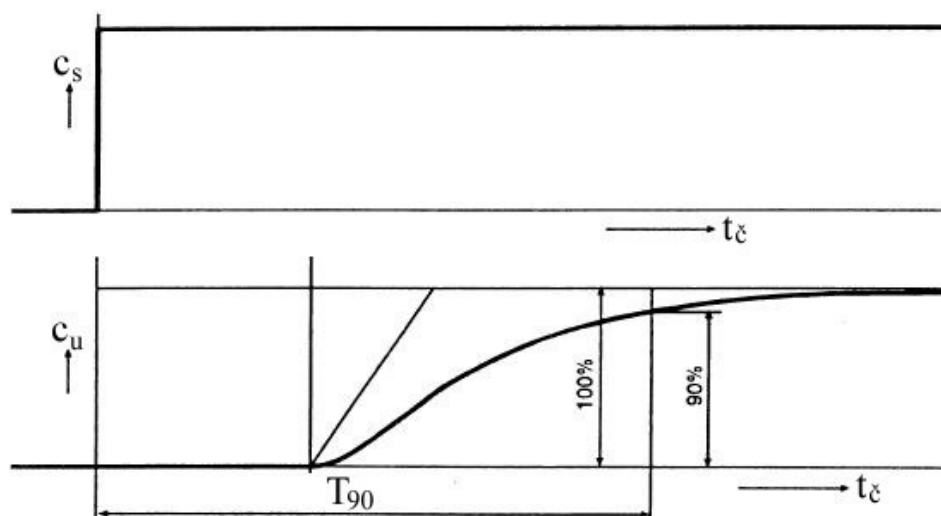
- *Selektivita* schopnost analyzátoru rozlišovat měřenou složku od jiných složek směsi.
- *Příčná citlivost Q* kvantitativní vyjádření selektivity analyzátoru, někdy označované jako rušivý vliv. Hodnota $Q < 1$

$$Q = \frac{N_2 \cdot c_2}{N_1 \cdot c_1} \quad [1] \quad (3.3)$$

kde: N_1 určovaná složka o koncentraci c_1 [1]

N_2 rušivá složka o koncentraci c_2 . [1]

- *Dynamické vlastnosti* vyjadřují zpoždění dat analyzátoru při změně koncentrace měřené složky (obr. 3.1). Nejdůležitější hodnota T_{90} nesmí dle vyhlášky překročit dobu 200 sekund.



Obr. 3.1: Časový průběh údaje analyzátoru při skokové změně koncentrace na výstupu do analyzátorového systému
 c_s – koncentrace měřené složky, c_u – údaj analyzátoru [1]

3.3 Fotometrické analyzátorů

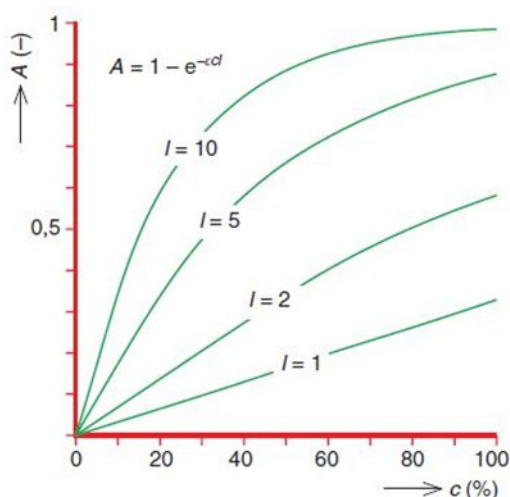
Princip fotometrické metody samočinného analyzátoru závisí na elektromagnetickém záření ultrafialových, viditelných a infračervených oblastí vlnových délek. Záření ovlivňuje absorpci, rozptyl, lom nebo otáčení roviny polarizačního záření. Fluorescenční a chemiluminiscenční analyzátorů patří k optickým metodám, které využívají emise záření.

3.3.1 Absorpční analyzátorů

Tento analyzátor měří absorpci záření, které prochází analyzovaným plynem. Intenzita záření se zeslabuje průchodem přes vrstvu látky. Lambert-Beerův zákon u monochromatického záření vyjadřuje intenzitu zeslabení

$$\varphi = \varphi_0 e^{-\varepsilon c l} \quad [W] \quad (3.4)$$

kde: φ_0	zářivý tok vstupující do látky	[W]
φ	zářivý tok vystupující z látky	[W]
e	základ přirozeného logaritmu	[1]
ε	extinkční koeficient	[l.mol ⁻¹ .cm ⁻¹]
c	koncentrace absorbující látky	[l.mol ⁻¹]
l	tloušťka vrstvy látky podél paprsku.	[cm]

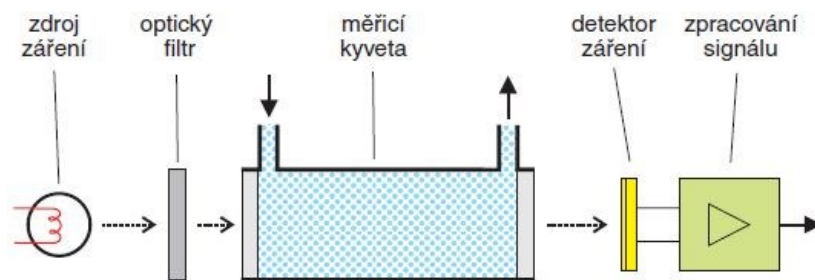


Obr. 3.2: Absorbance A v závislosti na koncentraci c [6]

Na obr. 3.2 je vyjádřena závislost mezi absorpcí a koncentrací látky. Existenční koeficient má výraznou závislost na vlnové délce záření.

K měření na principu světelné propustnosti se používá mnoho přístrojů, které mají různé zdroje záření a umístění dílů v optickém směru.

Tyto přístroje (obr. 3.3) se skládají z pěti základních částí: zdroje záření, optického filtru, měřicí kyvety, detektoru záření a zpracování signálu z detektoru.



Obr. 3.3: Základní součásti fotometrického analyzátoru [6]

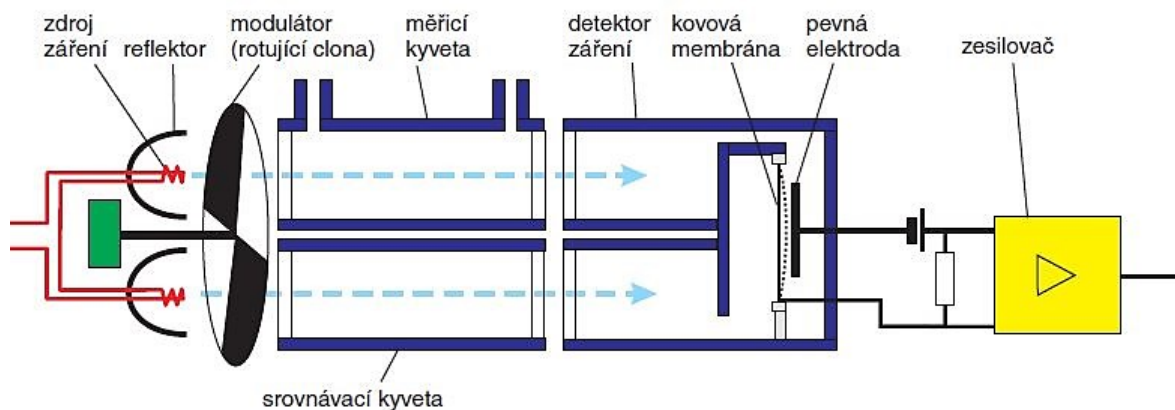
- *Zdroj záření* nám vyzařuje spojitě infračervené záření, přičemž nejčastěji používáme elektricky vyhřívané materiály nebo kovové topné spirály vyzařující polychromatické spojitě spektrum. Teplota zářiče pro maximální intenzitu bývá v rozmezí od 800 °C až do 1600 °C. Dalším zdrojem je laserové záření.
- *Optický filtr* slouží k filtraci záření, který propouští pouze záření požadované vlnové délky, a tím potlačuje rušivé vlivy.
- *Měřicí kyveta* je zařízení s válcovým obalem, ve kterém proudí analyzovaný plyn. Oba konce propouštějí okénky nebo čočkami světlo určených vlnových délek. Okénka nebo čočky ofukujeme čistým vzduchem, abychom zamezili usazování tuhých částic. Délku kyvet volíme (dle obr. 3.2). Odraz paprsku na stěnách je nežádoucí, a proto volíme průměr kyvety větší než průměr svazku paprsku.
- *Detektor záření* slouží ke kvantitativnímu zaznamenání velikosti dopadajícího toku infračerveného záření a převedení na elektrický signál pro další zpracování.

Nevýhodou uspořádání základních částí (obr. 3.3), které pracují na disperzním základě bez srovnávací kyvety, je významná závislost výsledného signálu na stabilitě těchto částí a zejména na intenzitě záření zdroje. Srovnávací uspořádání nám tyto nevýhody eliminuje. Záření je možno rozdělit na dvě optické dráhy s měřicí a srovnávací kyvetou. Z konstrukčního hlediska máme uspořádání dvoupraprskové se společnou měřicí kyvetou, společným zdrojem nebo detektorem záření. Prochází-li záření pouze jednou optickou dráhou, bývá střídavě přepínáno mezi dvěma i více vlnovými délkami.

Zpracování a vyhodnocení signálu z detektoru záření dělíme na fotometry s rozdílovým a podílovým hodnocením.

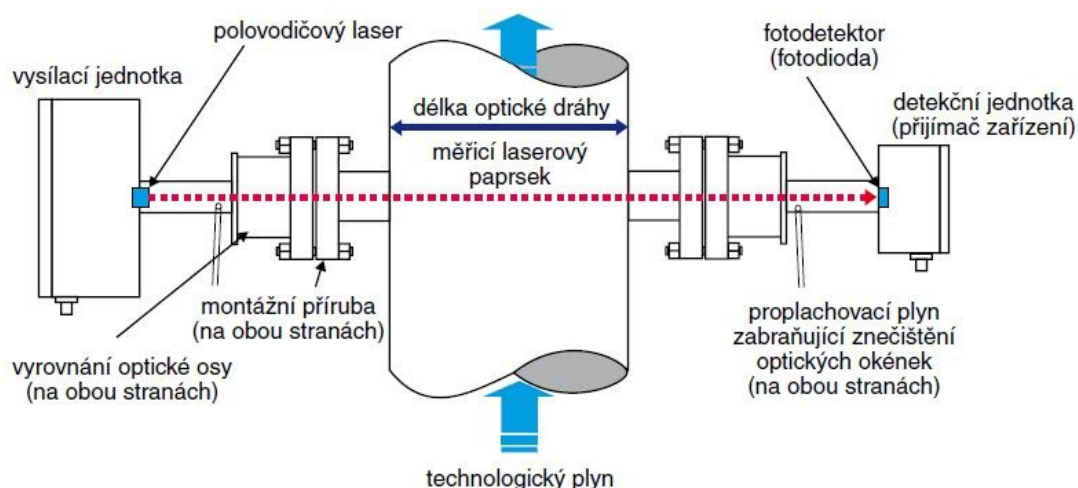
- *Rozdílové vyhodnocení* měří rozdíl intenzit dvou praprsků, je nutno eliminovat rušivé vlivy, které ovlivňují stabilitu nulové polohy.
- *Podílové vyhodnocení* zpracovává signály u dvou detektorů záření, aby výsledné zpracované signály byly úměrné jejich podílu. Předností tohoto hodnocení je potlačení rušivých vlivů, obzvláště kolísání zářivosti zdroje.

Analyzátory kouřových plynů pro určení obsahu hlavních plynných znečišťujících složek používají nejčastěji metodu infračervené absorpční spektrometrie označované jako NDIR (viz obr. 3.4). Pracují s absorpcí v infračerveném pásmu $0,7 - 10^4 \mu\text{m}$ elektromagnetického záření. Rozhraní mezi viditelnou infračervenou oblastí bývá $0,7 \mu\text{m}$, nad $10^4 \mu\text{m}$ máme oblast mikrovln.



Obr. 3.4: Schéma infračerveného analyzátoru URAS [7]

Laserový analyzátor infračerveného záření využívá pouze úzkého pásma pracovních vlnových délek za pomoci laserových zřídli. Analyzátory s laserovým zdrojem záření monochromatického charakteru (obr. 3.4) nepotřebují optický filtr, jelikož pracují s vlnovou délkou bez absorpce rušivých složek v měřeném plynu. Nevýhodou velmi úzké absorpční špičky je chyba měření, která při malé změně vyzařované vlnové délky může výrazně změnit absorpci. Pro odstranění této nevýhody je nutné laser přeladovat přes celou šířku absorpční špičky. Výhodou je získání signálu s maximální absorpcí.

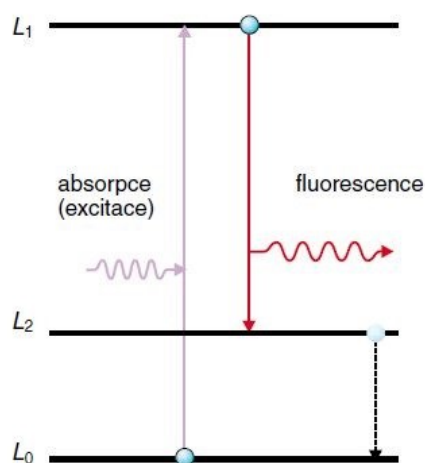


Obr. 3.5: Uspořádání laserového infračerveného analyzátoru Yokogawa TDL200 [7]

Analyzátoři označované jako FFT využívají Fourierovou transformaci pro převod záznamu interferogramu na kmitočtové spektrum. Získaný výsledek u snímání interferogramu je stejný jako při záznamu optického spektra za pomoci spektrometru. Hlavní výhodou analyzátoru FFT je získání údajů o mnoha složkách analyzovaného plynu používáním pouze jednoho zařízení.

3.3.2 Fluorescenční analyzátoři

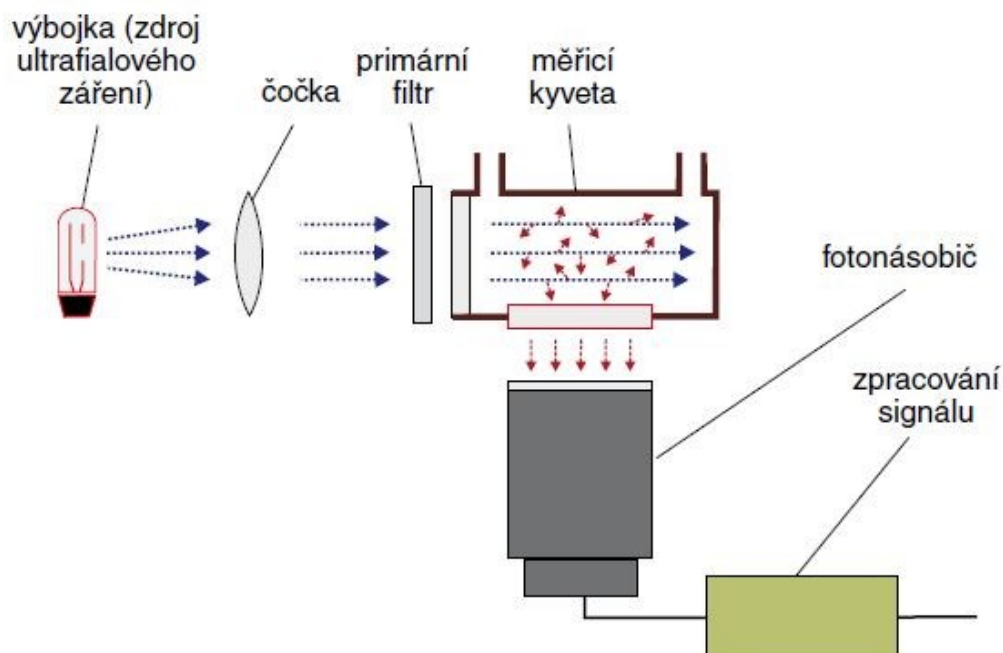
Na principu využití fluorescence pracují fluorescenční analyzátoři pro měření koncentrace SO_2 , ve kterém primární záření určité vlnové délky dopadá na ozařovanou látku, sekundární záření z ozařované látky má jinou vlnovou délku. Ta je větší než primární záření.



Obr. 3.6: Přejchody atomů mezi energetickými stavy při fluorescenci [7]

Na obr. 3.5 je schéma absorpce a emise záření. Absorpcí ultrafialového záření získá atom energii fotonu. Přechází na vyšší energetickou hladinu L_1 . Tento atom přecházením na nižší energetickou hladinu L_2 vyzáří energii vyšší než je výchozí hladina L_0 . Menší rozdíl energetického stavů s menším množstvím energie odpovídá uvolněnému fotonu s větší vlnovou délkou.

Uspořádání fluorescenčního analyzátoru (obr. 3.6). Primární záření vstupuje do měřicí kyvety přes primární filtr, který propouští záření vlnové délky 214 nm. Vznik sekundárního, nebo-li fluorescenčního záření v měřicí kevetě, nastává při dopadu fotonu na molekulu SO₂. Fotonásobič je citlivý detektor sekundárního záření.



Obr. 3.7: Schéma principu fluorescenčního analyzátoru koncentrace SO₂ [7]

3.3.3 Chemiluminiscenční analyzátory

Chemiluminiscence a fluorescence patří k vysoce selektivním optickým metodám při kontinuálním měření analytů. Chemiluminiscenční analyzátory používáme k měření NO nebo NO_x.

Princip chemiluminiscence (obr. 3.7) v plynné fázi za vzniku ultrafialového záření spočívá v reakci: oxidace oxidu dusnatého ozonem na oxid dusičitý.



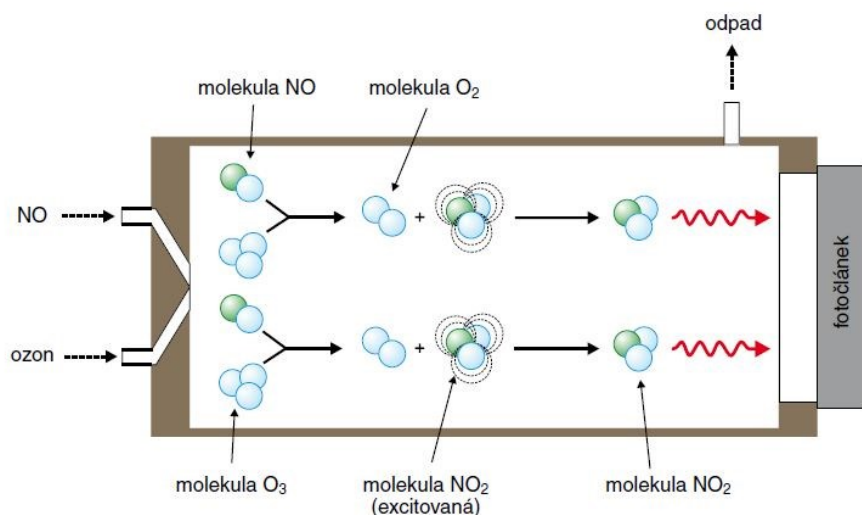
kde: NO je oxid dusnatý [%, -]

O₃ je ozon [%, -]

O₂ je kyslík [%, -]

NO₂* je oxid dusičitý v excitovaném stavu (má vyšší energii) [%, -]

Chemiluminiscenční analyzátor se skládá z měřicí kyvety se dvěma vstupy, kudy vstupuje analyzovaná směs a ozon. Ozon vzniká prouděním vzduchu kolem rtuťové výbojky, ve kterém se část kyslíku při dopadu ultrafialového záření přemění na ozon. Před detektorem záření je umístěn chlazený fotonásobič a širokopásmový filtr. Správná funkčnost analyzátoru závisí na stabilitě průtoku analyzovaného vzorku a vzduchu s ozonem. Měření oxidu dusičitého v analyzovaném plynu nelze provést, proto je nutná redukce na oxid dusnatý před vstupem do měřicí kyvety za pomoci reaktoru s redukční náplní.



Obr. 3.8: Princip chemiluminiscenčního analyzátoru [7]

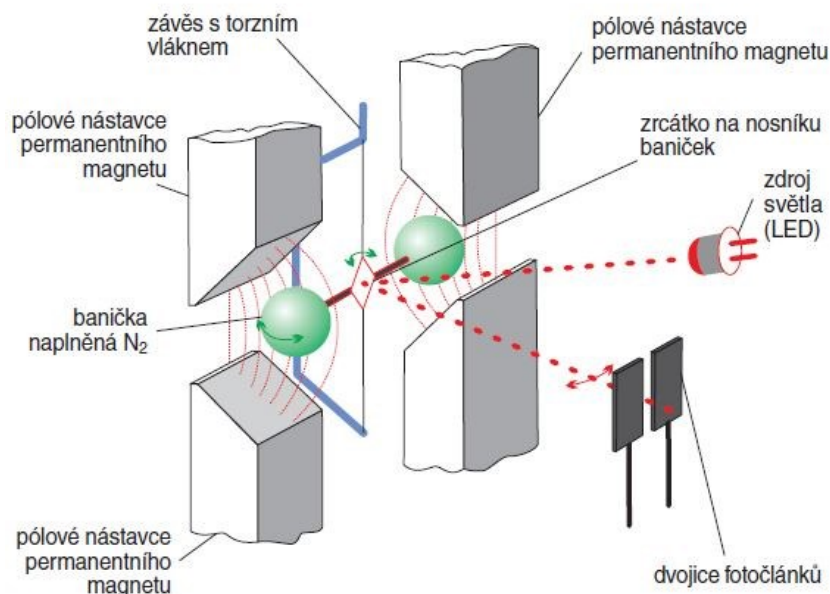
3.4 Magnetické analyzátory

Magnetické analyzátory využívají magnetických vlastností plynu. Důvodem magnetických jevů je pohyb elektronů kolem kladného jádra atomu dle elektronové teorie magnetismu. Pohyb elektronu prezentuje trvalý elektrický proud doprovázený magnetickým polem. Celková magnetická účinnost u většiny plynných látek bývá rušena vzájemným působením elektronu v uspořádaných dráhách. Výjimkou je paramagnetismus plynu NO a NO₂, který se vyznačuje výskytem nepárového elektronu v jedné molekule. Kyslík s výbornými magnetickými vlastnostmi obsahuje sudý počet elektronů a dva nespřážené elektrony s paralelním spinem. V praxi používáme magnetické analyzátory pouze k měření koncentrací O₂, jelikož má výrazně větší magnetickou susceptibilitu než NO nebo NO₂.

Existují tři používané metody pro měření koncentrace O₂ v magnetických analyzátoch.

- *Statická metoda* - měří sílu, která působí na baňku s naplněným plynem v nehomogenním magnetickém poli.
- *Magneto-pneumatická metoda* - měří přitahovaný tlak do středu magnetického pole, který je způsobený molekulami paramagnetického plynu.

- *Termomagnetická metoda* - je založena na měření rychlosti proudu plynu v nehomogenním magnetickém a teplotním poli. Tato metoda využívá závislosti magnetických vlastností látek na teplotě.



Obr. 3.9: Schéma magnetického analyzátoru ve statickém uspořádání VA [8]

Uspořádání statické metody magnetického analyzátoru znázorňuje obr. 3.8. Analyzátor se skládá ze dvou otáčivých malých baněk naplněných N_2 , které visí na torzních vláknech v nehomogenním magnetickém poli. Ke sledování otáčivého momentu používáme optické nástroje - zrcátko umístěné na nosníku baniček.

3.5 Elektrochemické analyzátory

Elektrochemické analyzátory, někdy označované jako potenciometrické, pracují na principu měření výstupního napětí, které vzniká mezi elektrodami. Pevný elektrolyt tvoří oxid zirkoničitý.

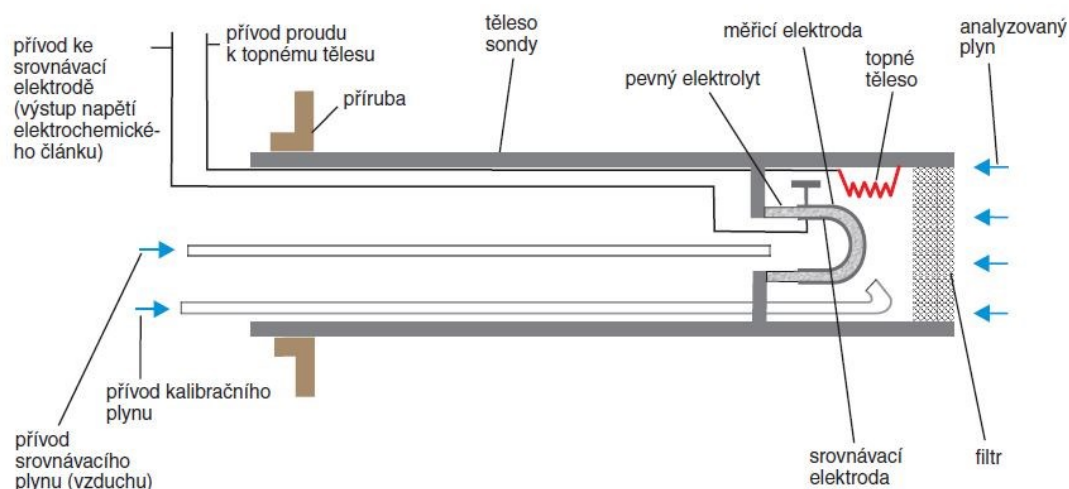
Jako příklad je dále uveden analyzátor pro stanovení koncentrace kyslíku, ve kterém tvoří pevný elektrolyt oxid zirkoničitý.

Hlavní částí analyzátoru je vrstva elektrolytu s platinovými elektrodami. Elektrody musí propouštět plyn a jsou umístěny na protilehlých stranách elektrolytu. Srovnávací elektroda se nachází na straně přívodu srovnávacího plynu. Měřicí elektroda je umístěna na straně přívodu analyzovaného plynu.

Mezi elektrodami vzniká napětí, které definuje Faradayův vztah

$$E = \frac{R \cdot T}{4 \cdot F} \cdot \ln \frac{p_1(O_2)}{p_2(O_2)} \quad [V] \quad (3.6)$$

kde: E je elektromotorické napětí mezi elektrodami [V]
 R je univerzální plynová konstanta [J.mol⁻¹.K⁻¹]
 T je absolutní teplota [K]
 F je Faradayaova konstanta [C.mol⁻¹]
 $p_{1,2}(O_2)$... je parciální tlak kyslíku u elektrody 1, popř. 2. [kPa]



Obr. 4.0: Uspořádání sondy s elektrochemickým článkem pro měření v kouřovodu [8]

Uspořádání sondy s elektrochemickým článkem slouží k měření koncentrace O_2 v měřeném plynu (obr. 3.9). Elektrochemický článek na konci sondy je zasunutý přímo v kouřovodu (obr. 2.2), kde se měří skutečné složení plynné složky. Analyzovaný plyn prochází filtrem. Čidlo s elektrodami a keramikou vyhřívá topné těleso na teplotu 800 °C. Jako srovnávací plyn používáme vzduch. Přívod kalibračního plynu slouží ke kontrole funkčnosti snímače. Přesnost měření ovlivňuje vysoká teplota, při které oxidují nespálené složky směsi na platinovém povrchu měřicí elektrody.

4. EMISE

Tato kapitola byla zpracována podle literatury [4] a [5]

Emise jsou znečišťující látky, které vznikají při spalování a jsou vypouštěny do ovzduší. Mezi hlavní znečišťující plynné látky patří SO_2 , NO_x , CO a CO_2 .

- *Emisní limit* vyjadřuje maximální množství znečišťující látky vypouštěné do ovzduší, udává množství emitované látky za časovou jednotku (mg/m^3). Je dán vyhláškou, zákonnými předpisy a musí se dodržovat. Vyhláška rozděluje stacionární zdroje dle účelu spalování, výkonu nebo příkonu a druhu paliva.
- *Emisní strop* vyjadřuje maximální přípustné emisní limity za jeden rok pro všechny zdroje znečišťování na vymezeném území.
- *Emisní faktor* je veličina vyjadřující střední množství škodliviny, která vzniká spálením jednotkového množství paliva ve spalovacím zařízení.

Vyhodnocení a zjišťování úrovně znečištění měřením je povinností provozovatele stacionárního zdroje. Měření se provádí před výstupem do ovzduší. V místě, kde již nedochází ke změně koncentrace odpadního plynu.

4.1 Jednorázové měření

Jednorázové měření emisí se provádí u spalovacích stacionárních zdrojů o jmenovitém tepelném příkonu 50 MW a vyšším, spalující tuhé nebo kapalné palivo, a kde nejsou stanoveny specifické emisní limity. Měření vykonávají autorizované osoby, které zajišťuje provozovatel. Kromě manuálních metod se samostatnými odběry vzorků můžeme použít i přístroje určené ke kontinuálnímu měření emisí. Přístroje pro měření musí splňovat podmínku možnosti stanovení koncentrace znečišťujících látek v rozmezí 10 % až 200 % specifického emisního limitu.

Toto měření se provádí u stacionárního zdroje při uvedení do provozu. Jedenkrát ročně u každé změny paliva a po každém zásahu do vybavení nebo konstrukce kotle. Jedenkrát za 3 kalendářní roky u ostatních stacionárních spalovacích zdrojů. Jedenkrát ročně u stacionárních spalovacích zdrojů, jejichž celkový jmenovitý tepelný příkon přesahuje 50 MW.

Dobu a četnost měření nařizuje vyhláška. Za dodrženy považujeme emisní limit tehdy, jsou-li jednotlivé průměrné výsledky měření koncentrace znečišťující látky menší než 120 % emisního limitu a průměrná hodnota je menší než emisní limit.

4.2 Kontinuální měření

Kontinuální měření emisí se provádí k určení tuhých znečišťujících látek (TZL), SO₂, NO_x (NO₂) a CO u spalovacích stacionárních zdrojů o jmenovitém tepelném příkonu 50 MW a vyšším. Měření se provádí také u stacionárního zdroje, kde roční hmotnostní tok překračuje maximální projektovaný výkon zdroje a při překročení emisního limitu dané hmotnostní koncentraci znečišťující látky (viz tab. 4.1). Kontinuální měření emisí nahrazujeme jednorázovým měřením u stacionárního spalovacího zdroje spalující pouze zemní plyn do jmenovitého tepelného příkonu 100 MW.

Název látky	Hmotnostní koncentrace [tun/rok]
TZL	200
SO ₂	1000
NO _x (vyjádřeny jako NO ₂)	200
CO	50
plynné anorganické sloučeniny chloru (vyjádřeny jako chlor)	4
plynné anorganické sloučeniny fluoru (vyjádřeny jako fluor)	2
těkavé organické látky (vyjádřeny jako organický uhlík)	10
sulfan	1

Tabulka 4.1: Specifický emisní limit [4]

Při měření, kalibraci a ověření správnosti výsledků je nutno dodržet reprezentativnost a průkaznost. Použitá metoda měření a odběr analyzovaného plynu musí maximálně odrážet skutečnost dané úrovně znečištění. Přístroje pro měření musí splňovat podmínku stanovení hmotnostní koncentrace znečišťující látky v rozmezí 10 % až 250 % daného emisního limitu.

Za dodržení považujeme emisní limit tehdy, pokud jsou měsíční průměrné hodnoty pod hodnotou specifického emisního limitu, dále průměrná denní hodnota nepřekročí 110 % hodnoty emisního limitu nebo 150 % hodnoty emisního limitu u stacionárního spalovacího zdroje se jmenovitým tepelným příkonem do 50 MW spalující černé uhlí a u půlhodinové průměrné hodnoty pod 200 % hodnoty emisního limitu.

Kontrolu správnosti údajů kontinuálního měření provádí autorizovaná osoba jedenkrát ročně jednorázovým měřením.

Kromě měření úrovně znečištění musíme kontinuálně měřit stavové veličiny, vztažené veličiny a při zpracování odpadu i provozní parametry procesu. Jedná se o teplotu spalin, tlaku, teploty a vlhkosti odebíraného vyčištěného analyzovaného plynu. Je-li odebíraný vzorek odpadního plynu před analýzou zbaven vlhkosti, není vyžadováno kontinuální měření obsahu vodních pár.

4.3 Vlastnosti škodlivin

Nejvýznamnější škodlivé látky obsaženy ve spalinách, které ovlivňují životní prostředí a mají negativní účinky na zdraví člověka a zvířat jsou uvedeny v tab. 4.2.

Název a označení	Vznik	Vlastnosti	Zdravotní účinky	Vliv na životní prostředí
Oxid siřičitý SO₂	při spalování paliv s obsahem síry	bezbarvý, štiplavý	toxický, dráždí horní dýchací cesty	kyselé deště
Oxidy dusíku NO_x	NO z organicky vázaného a vzdušného dusíku	červenohnědý	nejsou známy	spolu s dalšími plyny způsobuje smog
Oxid dusnatý NO	NO ₂ z NO při spojení s kyslíkem u nízkých teplot	červenohnědý	dráždí sliznici	kyselé deště
Oxid dusičitý NO ₂	N ₂ O při spalovacích procesech (detailnější vznik zatím neznám)	bezbarvý, nehořlavý	anestetický účinek (rajský plyn), při vysoké koncentraci zástava dýchání	skleníkový plyn
Oxid dusný N ₂ O				
Oxid uhelnatý CO	při nedokonalého spalování uhlíku	bezbarvý a bez zápachu	prudce jedovatý, zamezuje přenosu kyslíku v krvi	při reakci s jinými látkami způsobuje škodlivý přízemní ozon
Oxid uhličitý CO₂	při spalování (fosilní a organická paliva)	bezbarvý, nehořlavý, lehce kyselý	ztěžuje dýchání	skleníkový plyn

Tabulka 4.2: Vybrané škodliviny a jejich vlastnosti

4.4 Výpočet emisí

Realizace výpočtu hmotnostní koncentrace znečišťujících látek u jednorázového měření provedeného manuální metodou závisí na metodě určení. U kontinuálního měření vyjadřujeme objemový zlomek dané složky analyzovaného plynu. Pro správnost výsledku je potřeba znát vztažné podmínky, které se liší, je-li odpadní plyn suchý nebo vlhký, a dle referenčního obsahu kyslíku.

- *Hmotnostní koncentrace* vyjadřuje hmotnost znečišťující látky na objem nosného plynu, odváděné ze zdroje.

- 1) Rovnice pro výpočet koncentrace za normálního stavu u vlhkého plynu

$$E_n = \frac{273,15 + t}{273,15} \cdot \frac{101,32}{101,32 \cdot \Delta p} \cdot E_p \quad [\text{ppm, mg.m}^{-3}_N] \quad (4.1)$$

- 2) Rovnice pro výpočet koncentrace za normálního stavu u suchého plynu

$$E_n^s = \frac{273,15 + t}{273,15} \cdot \frac{101,32}{101,32 \cdot \Delta p} \cdot \frac{100}{100 - w} \cdot E_p \quad [\text{ppm, mg.m}^{-3}_N] \quad (4.2)$$

- 3) Rovnice pro výpočet koncentrace za normálního stavu u suchého plynu s referenčním obsahem kyslíku

$$E_n^r = \frac{273,15 + t}{273,15} \cdot \frac{101,32}{101,32 \cdot \Delta p} \cdot \frac{100}{100 - w} \cdot \frac{21 - O_2^r}{21 - O_2^m} \cdot E_p \quad [\text{ppm, mg.m}^{-3}_N] \quad (4.3)$$

kde: E_n ... koncentrace za normálního stavu u vlhkého plynu [ppm, mg.m⁻³_N]

E_n^s ... koncentrace za normálního stavu u suchého plynu [ppm, mg.m⁻³_N]

E_n^r ... koncentrace za normálního stavu u suchého plynu
s referenčním obsahem O₂ [ppm, mg.m⁻³_N]

E_p ... koncentrace za daných provozních podmínek [ppm, mg.m⁻³_N]

t teplota nosného plynu za daných provozních podmínek [° C]

Δp ... tlaková diference vůči normálnímu tlaku za daných
provozních podmínek [Pa]

w obsah H₂O [%]

O_2^r ... referenční obsah O₂ ve spalínách [%]

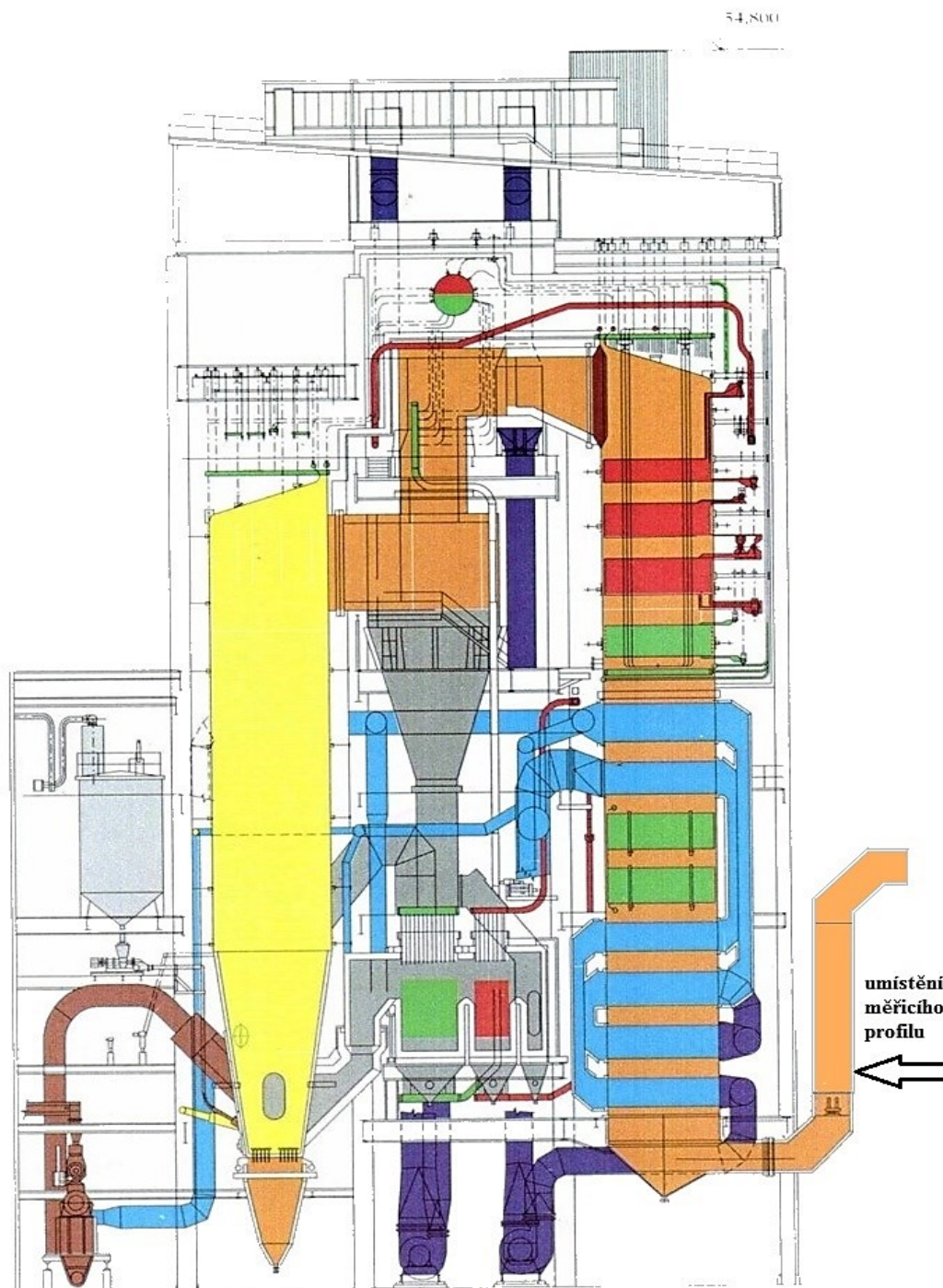
O_2^m ... změřený obsah O₂ ve spalínách [%]

- *Hmotnostního toku* vyjadřuje hmotnost znečišťující látky za jednotku času, odváděné ze zdroje.

5. NÁVRH KONTINUÁLNÍHO MĚŘENÍ

Tato kapitola byla zpracována podle literatury [3] a [9]

Cílem praktické části této bakalářské práce je navržení systému kontinuálního měření plyných složek spalín na výstupu z kotle a vyhodnocení investičních nákladů. Toto měření bude navrženo za poslední teplosměnnou plochou kotle K11 Energetiky Třinec (viz obr. 5.1) před EO a výsledky mohou sloužit k optimalizaci provozu a stanovení účinnosti.



Obr. 5.1: Schéma fluidního kotle K11 Energetika Třinec

5.1 Parametry kotle K11

Kotel K11 je fluidní kotel s cirkulující fluidní vrstvou, který byl uveden do provozu v roce 1995. Kotel má dvoutahovou konstrukci se dvěma cyklony a jedním bubnem. V I. tahu je umístěná fluidní spalovací komora s fluidním roštem. V horní části II. tahu je 2. a 3. přehřívač a EKO 2. Ve spodní části je LUVO 1 a 2 a EKO 1. Chladič fluidní vrstvy zahrnuje část výparníku a 1. přehřívač.

• Jmenovitý výkon kotle	160	[t.h ⁻¹]
• Jmenovitý tepelný výkon kotle	126,8	[MW _t]
• Jmenovitý tlak přehřáté páry	9,6	[MPa]
• Jmenovitá teplota přehřáté páry	540 ± 5	[°C]
• Jmenovitá teplota napájecí vody	150	[°C]
• Nejvyšší tlak přehřáté páry	12,2	[MPa]
• Nejvyšší teplota přehřáté páry	560	[°C]

Kotel je určen ke spalování pevných i plyných paliv a dále biomasy. Základní pevné palivo používané na K11 je proplástek, energetické uhlí, hnědé uhlí, kaly granuláty a biomasa, složení je v tabulce 5.1. Plyné palivo zemní plyn s výhřevností 35,72 MJ.m⁻³ a vysokopecní plyn s výhřevností 3,0 až 3,15 MJ.m⁻³ využíváme jako doplňkové palivo pro stabilizaci a najíždění. Vápenec jako aditivum používáme k regulaci SO₂ ve spalinách.

palivo	W _t ^r [%]	A ^d [%]	Q _i ^r [MJ.kg ⁻¹]	S _t ^d [%]	V ^{daf} [%]
Proplástek	4 - 14	34 - 55	13 - 18	0,4 - 1,3	26 - 35
Energetické uhlí	6 - 14	20 - 40	17 - 24	0,4 - 1,4	26 - 28
Hnědé uhlí	20 - 30	5 - 15	18 - 24	0,8 - 1,5	50 - 60
Kaly	14 - 20	30 - 40	15 - 18	0,5 - 1,2	26 - 35
Granulát (sušené kaly)	8 - 14	30 - 40	15 - 18	0,5 - 1,2	26 - 35
HP	7 - 11	20 - 27	24 - 27	0,5 - 0,8	25 - 34
Biomasa	8 - 12	1 - 3	15 - 19	0,1 - 0,4	-

Tabulka 5.1: Průměrné složení paliv [9]

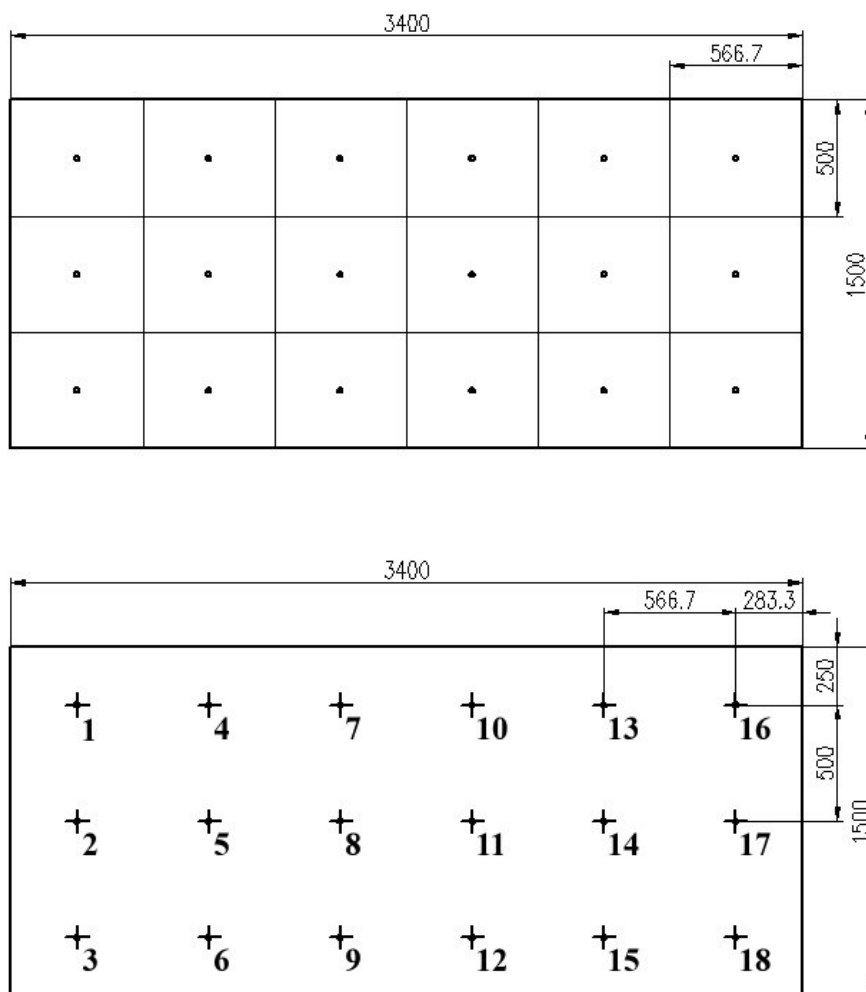
5.2 Měření emisí K11

Měřicí a monitorovací systém se skládá z měření O_2 , TZL a plyných emisí. Analýza O_2 a CO je využívána k řízení spalovacího procesu. Pro emisní monitoring bývají měřené plyné složky spalin SO_2 , NO_x , CO a také TZL.

- Měření O_2 umístěné před LUVO se uskutečňuje neextraktivní metodou za pomoci ZrO_2 sondy, která patří do skupiny elektrochemických analyzátorů popsaných v kapitole 3.5.
- Měření SO_2 , NO_x , CO, O_2 umístěné za EO je prováděno pomocí odběrového zařízení a fotometrického analyzátoru s infračervenou absorpcí popsaných v kapitole 3.3.

5.3 Volba měřicího místa

Měřicí místo plyných složek spalin je umístěno na spalinovodu za II tahem před EO. Svislé potrubí obdélníkového průřezu má rozměry 3,4 x 1,5 m. Rozmístění vzorkovacích bodů (viz obr. 5.2) bylo provedeno v souladu s normou ČSN ISO 9096, tak jak je uvedeno v kapitole 2.2.



Obr. 5.2: Rozdělení měřicích bodů v průřezu potrubí

Pro posouzení ustálenosti a rovnoměrnosti proudění odpadního plynu je nutno proměřit rychlost proudění v jednotlivých měřicích bodech pomocí Prandtlovy trubice dle kapitoly 3.4.2 a zároveň zjistit v jednotlivých bodech složení odpadního plynu. Toto měření, jehož cílem bude stanovení referenčního měřicího bodu pro analýzu spalin, bude provedeno při minimálním, jmenovitém a ekonomickém výkonu kotle. Koncentrace plynných látek spalin v příčném průřezu potrubí bývá rovnoměrnější na rozdíl od tuhých znečišťujících látek, a proto nalezení referenčního bodu pro měření plynných složek nebude tak problematické a lze předpokládat, že bude umístěn v blízkosti středu sledovaného měřicího průřezu. Doporučuji odebrat vzorek plynu z jednoho bodu pomocí měřicí sondy (viz obr. 2.6). Tento bod se nachází v blízkosti středu měřicího průřezu umístěného mezi body 8 a 11 obr. 5.2. Pro umístění měřicí sondy využiju stávající měřicí otvor + 9,5 m.

Z důvodu bezpečnosti je měřicí stanoviště, které se nachází ve výšce + 8,5 m vybaveno plošinou a zábradlím.

5.4 Přístrojové vybavení

Přístrojové vybavení je vyobrazeno v příloze. Skládá se z otápěné měřicí sondy Gas 222.17 s keramickým filtrem bude namontovaná pod úhlem 15° od vodorovné polohy. Trubku k měřicí sondě o délce 1,5 m je možno zkrátit tak aby dosahovala ke zvolenému měřicímu bodu. Trasa vzorku ke skříni s analyzátozem se uskutečňuje pomocí vytápěného potrubí, udržení stále teploty 185 °C zabezpečuje regulační jednotka topení kabelu.

Přístrojová skříň ve vzdálenosti 4,5 m od měřicí sondy je umístěná pod EO +7,5m a je v ní umístěna pumpa vzorku P 2.3, filtr vzorku AGF-PV-30-F2, chladicí zařízení EGK 1/2, detektor vlhkosti, regulátor (relé k čidlu vlhkosti) FF-HM-230, průtokoměr, teploměr a analyzátor. Pro potřebu napájení je nutná instalace střídavého napětí 220 až 240 V a příkonu max. 60 VA.

Analyzátor plynu byl zvolen ULTRAMAT 23 od firmy Siemens (viz kapitola 5.4.1). Navrhované měření se zaměřuje na analýzu O₂ a CO ve spalinách. Výrobci nabízejí přístroje pro měření jedné složky O₂ nebo CO. S ekonomického hlediska byl však zvolen jeden přístroj, který měří i další složky analyzovaného plynu NO a SO₂, které mohou být pro provozovatele kotle také velice cenné.

Toto navržené měření koncentrace plynných složek spalin, kde výsledkem bude údaj o koncentraci O₂ a CO můžeme využít ke stanovení účinnosti.

5.4.1 Analyzátor plynu ULTRAMAT 23

Extraktivní analyzátor plynu Siemens ULTRAMAT 23 (obr. 5.4) s možností měření koncentrace až 3 sloučenin aktivních v infračerveném záření metodou NDIR. Teto přístroj měří CO, NO, SO₂ a pomocí elektrochemického článku O₂. Výhodou tohoto analyzátoru je ekonomický provoz a kompaktní rozměry. Další výhodou je automatická kalibrace pomocí okolního vzduchu, kalibraci kalibračním plynem provádíme jednou ročně.



Obr. 5.3: Extraktivní analyzátor plynů ULTRAMAT 23 [12]

Na přední straně analyzátoru je umístěn průtokový ukazatel a podsvícený LCD display pro zobrazení naměřených hodnot. Dále menu pro vstup nastavení parametrů, testovacích funkcí a kalibraci.

Na zadní straně se nachází plynové přípojky pro přívod a odvod vzorku plynu a nulovací plyn. Přípojky plynu mají průměr 6 mm neboli ¼ ". Kromě jmenovaných plynových přípojek je analyzátor vybaven i elektrickými přípojkami pro přenos dat, synchronizaci více přístrojů, diagnostiku a servis.

5.5 Investiční náklady

č.p.	Položka	Katalogové označení	Počet M. J.	M. J.	Cena za M. J.	Celkem bez DPH
1	Ultramat 23-19“ Siemens, NDIR	7MB2338-0AA10-3NW1	1	ks	294 500,00	294 500,00
2	Gas 222.17, otápěná odběrová sonda	4622217099903 20099...	1	ks	45 388,00	45 388,00
3	Trubka k sondě (SS 1.4571, 12x2mm, G3/4, 1,5m)	46222001	1	ks	4 939,00	4 939,00
4	Filtr keramický pro sondu	46222026	1	ks	3 234,00	3 234,00
5	Příruba pro sondu / protikus		1	ks	2 500,00	2 500,00
6	Pumpa vzorku P2.3, 400 l/h	4256111199	1	ks	19 463,00	19 463,00
7	Filtr vzorku AGF-PV-30-F2	41502999	1	ks	5 410,00	5 410,00
8	Chladicí zařízení EGK 1/2	456222801000	1	ks	91 198,00	91 198,00
9	Detektor vlhkosti	41111000	1	ks	7 405,00	7 405,00
10	Regulátor (relé k čidlu vlhkosti), FF-hm-230	4111020	1	ks	5 969,00	5 969,00
11	Průtokoměr	405600199S	1	ks	22 491,00	22 491,00
12	Otápěný kabel / trasa vzorku, odolný proti plamenu	500303000	5	m	4 500,00	22 500,00
13	Teploměr k trase	50061200	1	ks	5 000,00	5 000,00
14	Ovladač topení kabelu		1	ks	10 200,00	10 200,00
15	Skříň pro montáž přístrojů, elektro-instalační prvky, propojení plynové trasy, montážní a drobný materiál		1	ks	109 600,00	109 600,00
16	Práce (instalace, nastavení, atd.)		32	hod	450,00	14 400,00
17	Montáž, předpříprava trasy a analýzy (veškerá doprava)		32	hod	450,00	14 400,00
Celkem:						664 597,00 Kč (bez DPH)

Tabulka 5.2: Investiční náklady kontinuálního měření [13]

Investiční náklady pro realizaci navržené varianty kontinuálního měření složení spalín jsou (dle tabulky 5.2) 664 597 Kč bez DPH, 664 597 Kč + 21 % DPH = 804 162 Kč.

6. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo shrnout nejdůležitější informace potřebné k objasnění problematiky určení koncentrací plyných složek ve spalínách. K určení správného výsledku je potřeba provést analýzu plyných složek spalin, která má následující posloupnosti: odběr vzorku, úprava vzorku, analýza vzorku.

Odběr a úprava vzorků je nutné provádět s maximální pozorností. Vzniklé chyby a nedostatky nelze pozdější analýzou eliminovat. Reprezentativnost vzorku závisí zejména na správně zvoleném bodu v měřicím potrubí.

Popsané analyzátory spalin, v dnešní době řízené plně elektronicky pracující na mnoha principech. Volba principu závisí na požadavku měření daných plyných složek. Jejich umístění, provoz a kontrolu upřesňují platné vyhlášky a zákony.

Získat další aktuální informace o obsahu O_2 a CO ve spalínách na výstupu z kotle je velice cenné. Kde optimalizace spalovacího procesu ovlivňuje přebytek O_2 po spalování a obsah CO ve spalínách, který indikuje účinnost a bezpečnost. Tyto informace nám pomohou zvyšovat účinnost a tvořit maximální možný finanční zisk, minimalizovat emise a znečištění. Dále udržet spalovací zařízení v bezpečném provozu.

Nutné investiční náklady pro realizaci kontinuálního měření spalin na výstupu z kotle, které se pohybují kolem 800 000,- Kč, mají u velkých energetických kotlů rychlou návratnost.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomáš Výtisk, Ph.D. za jeho ochotu, trpělivost a odbornou pomoc při zpracování mé bakalářské práce.

Marek Goryczka

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BARTOVSKÝ, Tomáš. *Analyzátory emisí: [Přehled metod pro kontinuální měření plynných znečišťujících látek]*. 1. vyd. Praha: VUSTE, 1994, 160 s.
- [2] SERBOUSEK, Antonín. *Přístrojová technika pro měření čistoty ovzduší: určeno pro posl. 5. roč. fak. strojní*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1992, 46 s. ISBN 80-7078-136-x.
- [3] ČSN ISO 9096. *Stacionární zdroje emisí - Stanovení hmotnostní koncentrace a hmotnostního toku tuhých částic v potrubí - Manuální gravimetrická metoda*. ČNI Praha, 1998.
- [4] Zákon MŽP ČR č.201/2012: Sb. O ochraně ovzduší. In: *Sbírka zákonů 2012*. 2012.
- [5] Vyhláška MŽP ČR č.415: O přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší. In: *415/2012*. 2012.
- [6] *Automa: časopis pro automatizační techniku*. Praha: FCC Public s. r. o., 2011, roč. 17, 8-9 - 2011. ISSN ISSN 1210-9592.
- [7] *Automa: časopis pro automatizační techniku*. Praha: FCC Public s. r. o., 2011, roč. 17, 12 - 2011. ISSN ISSN 1210-9592.
- [8] *Automa: časopis pro automatizační techniku*. Praha: FCC Public s. r. o., 2011, roč. 18, 4 - 2012. ISSN ISSN 1210-9592.
- [9] Místní provozní řád kotle K11, Energetika Třinec, a.s.
- [10] Ministerstvo životního prostředí: INTEGROVANÝ REGISTR ZNEČIŠŤOVATELŮ. *Instrumentace měření emisí* [online]. 2007 [cit. 2014-04-04]. Dostupné z:
http://www.irz.cz/dokumenty/irz/metody_mereni/instrumentace_mereni_emisi.pdf
- [11] INOVACE ODBORNÉHO VZDĚLÁVÁNÍ NA STŘEDNÍCH ŠKOLÁCH ZAMĚŘENÉ NA VYUŽITÍ ENERGETICKÝCH ZDROJŮ PRO 21. STOLETÍ A JEJICH DOPAD NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ. VÝTISK, Tomáš. *Legislativa a monitoring v ochraně ovzduší u spalovacích zdrojů* [online]. Ostrava, 2012 [cit. 2014-04-05]. Dostupné z:
http://projekty.fs.vsb.cz/010/downloads/texty/Legislativa_a_monitoring_v_ochrane_ovzdusi-Vytisk.pdf
- [12] Siemens Česká republika. Dostupné z: <http://www.siemens.com/answers/cz/cz/>
- [13] POLY-ANALYSER s.r.o.

SEZNAM OBRÁZKU

Obr. 2.1: Schéma umístění měřicího průřezu	12
Obr. 2.2: Porovnání instalace analyzátoru „off-line“ a „in-situ“	13
Obr. 2.3: Základní umístění vzorkovacích bodů v potrubí kruhového průřezu	15
Obr. 2.4: Umístění vzorkovacích bodů v potrubí čtyřhranného průřezu	15
Obr. 2.5: Odběr a úprava měřeného plynu před vstupem do analyzátoru	16
Obr. 2.6: Sonda pro odběr kouřových plynů	17
Obr. 2.7: Princip měření Prandtlou trubicí	19
Obr. 2.8: Prandtlou trubice typ – L	21
Obr. 2.9: Prandtlou trubice typ – S	21
Obr. 3.1: Časový průběh údaje analyzátoru při skokové změně koncentrace na výstupu do analyzátorového systému	25
Obr. 3.2: Absorbance A v závislosti na koncentraci c	26
Obr. 3.3: Základní součásti fotometrického analyzátoru	26
Obr. 3.4: Schéma infračerveného analyzátoru URAS	27
Obr. 3.5: Uspořádání laserového infračerveného analyzátoru Yokogawa TDL200	28
Obr. 3.6: Přejídy atomů mezi energetickými stavy při fluorescenci	28
Obr. 3.7: Schéma principu fluorescenčního analyzátoru koncentrace SO ₂	29
Obr. 3.8: Princip chemiluminiscenčního analyzátoru	30
Obr. 3.9: Schéma magnetického analyzátoru ve statickém uspořádání VA	31
Obr. 4.0: Uspořádání sondy s elektrochemickým článkem pro měření v kouřovodu	32
Obr. 5.1: Schéma fluidního kotle K11 Energetika Třinec	37
Obr. 5.2: Rozdělení měřicích bodů v průřezu potrubí	39
Obr. 5.3: Extraktivní analyzátor plynů ULTRAMAT 23	41

SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1: Minimální vzdálenosti měřicích profilu od hydraulických odporů	12
Tabulka 2.2: Minimální počet vzorkovacích bodů pro potrubí s kruhovým průřezem	14
Tabulka 2.3: Minimální počet vzorkovacích bodů pro potrubí s čtyřhranným průřezem	14
Tabulka 4.1: Specifický emisní limit	34
Tabulka 4.2: Vybrané škodliviny a jejich vlastnosti	35
Tabulka 5.1: Průměrné složení paliv	38
Tabulka 5.2: Investiční náklady kontinuálního měření	42

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha: Schéma přístrojů pro kontinuální měření plynných složek spalin
Číslo výkresu GOR 0031 – 01 – 00